

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

ИНСТИТУТ НАУК О ЗЕМЛЕ

Кафедра геофизики

Ихина Эльвина Радиковна

Геолого-геофизическая модель Марокского золоторудного поля (Енисейский кряж)

Магистерская диссертация
по направлению 05.04.01 «Геология»

Научный руководитель:
к.г.-м.н., доц. А.В. Тарасов

«__»_____ 2017

Заведующий кафедрой:
д.г.-м.н., проф. К.В. Титов

«__»_____ 2017

Санкт-Петербург

2017

Оглавление

Введение.....	3
1.Геологическое строение и изученность территории	6
1.1 Краткие сведения о геологическом строении Енисейского края.....	6
1.2 Золотоносность Енисейского края	9
1.3. Марокское рудное поле.....	17
2. Отражение Марокского рудного поля в геофизических полях	28
3. Построение интерпретационного разреза	50
4.Геолого-геофизическая модель	67
Заключение	72
Список литературы	74

Введение

Россия является обладателем огромных запасов золота, занимая второе место в мире после ЮАР, с разведанными месторождениями, превышающими цифру 5500 тонн. В то же время, с каждым годом в стране растет дефицит разведанных и подготовленных к освоению запасов, особенно быстро исчерпываются запасы россыпных месторождений. Таким образом, для расширения минерально-сырьевой базы России необходимо выявление и разведка новых золоторудных объектов с достаточно высокими прогнозными ресурсами.

Превалирующее большинство крупных коренных месторождений относятся к большеобъемным, и локализуются в черносланцевых толщах в обрамлении Сибирской платформы. Такие месторождения, как Сухой Лог, Наталкинское, Олимпиаднинское и другие, включают в себе более половины всех запасов золота, учтенных Госбалансом России. В связи с этим, поиски и изучение большеобъемных месторождений в первую очередь связаны с этими районами (рис. 1).

«К большеобъемным золоторудным месторождениям в углеродисто-терригенных комплексах относятся месторождения с низкими содержаниями золота (0,5-1,5 г/т) со значительными запасами руды (более 100 млн. т) и металла (100 т и более), рудные тела которых представлены штокверками, линейными штокверками, залежами и минерализованными зонами стратоидных золото-кварцевых, золото-сульфидно-кварцевых и золото-сульфидных прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд, пригодных для рентабельной открытой отработки» (Галямов, Арифлулов, Конкин, 2012).

Основные золотоносные провинции (Енисейская, Байкало-Патомская и Верхояно-Колымская), несмотря на более чем вековую историю их освоения, изучены неравномерно и без выделения совокупности геологических, геохимических и геофизических признаков, характеризующих локализацию рудного золота.

Таким образом, выяснение рудоконтролирующих критериев и изучение степени их проявления в геофизических полях является актуальной задачей прикладной поисковой геологии, решение которой повысит вероятность обнаружения новых золоторудных объектов, в том числе большеобъемных.

В данной работе в качестве эталона большеобъемного месторождения выступает Марокское рудное поле, расположенное на Енисейском кряже. По ряду признаков в пределах этого рудного поля может быть выявлено большеобъемное золоторудное месторождение.

В 2013-2015 ФГУП «ЦНИГРИ» проводили поисково-оценочные работы на Марокском рудном поле. В комплекс работ входили и геофизические исследования,

проведенные ЗАО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика» в 2013-2014 гг. Результаты этих работ были использованы для работы над диссертацией.

Основные цели данной работы: уточнение границ рудного поля, выделение геофизических признаков минерализованных зон и построение прогнозной геолого-геофизической модели Марокского рудного поля.

Для выяснения закономерностей размещения золоторудных объектов данного типа и определения поисковых и рудоконтролирующих факторов необходимо решить следующие задачи:

1. Ознакомление с геологическим строением и золотоносностью Енисейского кряжа;
2. Обобщение геолого-геофизических материалов по золоторудным объектам Северо-Енисейского рудно-россыпного района и Марокского рудного поля;
3. Построение схемы интерпретации геофизических полей и интерпретационных геолого-геофизических разрезов по серии опорных профилей, пересекающих рудное поле;
4. Выделение геофизических критериев и признаков золотоносности на основе сопоставления геофизических, геохимических и геологических материалов;
5. Построение модели в таблично - графической форме.

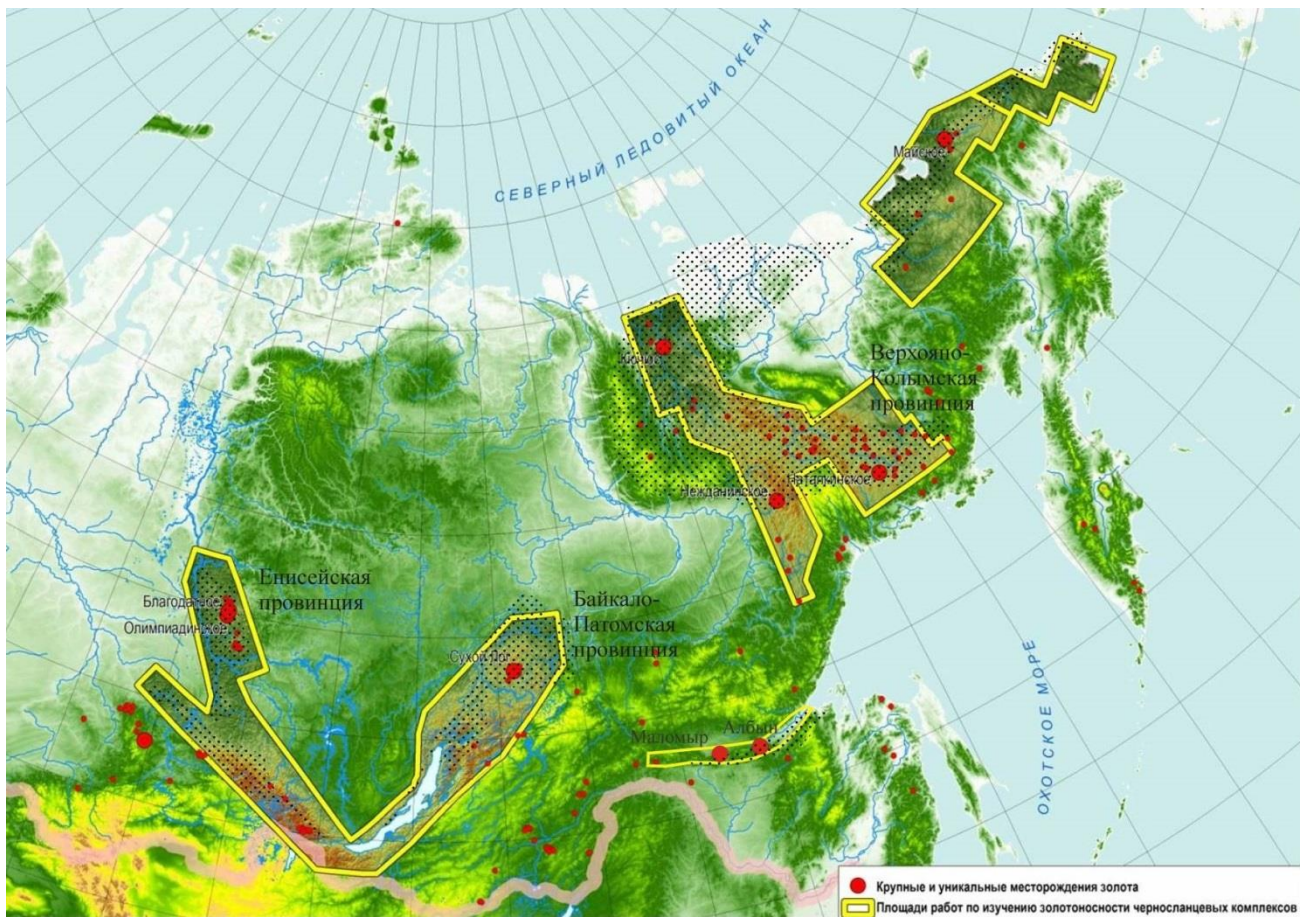


Рис.1. Черносланцевые золоторудные провинции востока России. (Галямов, Арифлулов, Конкин, 2012)

1. Геологическое строение и изученность территории

1.1 Краткие сведения о геологическом строении Енисейского кряжа

Енисейский кряж представляет собой крупную складчато-надвиговую структуру северо-западного простирания с шириной до 200 км и протяженностью около 700 км и формирует горстовую структуру в составе Сибирской платформы (рис. 2). Кряж разделен Ангарским разломом на две части – Южно-Енисейскую и Заангарскую, в составе которых, в свою очередь, выделяются террейны. Южно-Енисейский сегмент включает Ангаро-Канский блок, образованный гнейсо-сланцевыми комплексами и гранитоидами докембрийского возраста и Предивинский островодужный террейн неопротерозойского возраста. Заангарская часть состоит из Восточно- и Центрально-Ангарских террейнов мезо-неопротерозойского возраста и Исаковского террейна неопротерозойского возраста (Лиханов, Попов, Ножкин, 2012).

Террейны разделены глубинными разломами, преимущественно северо-западного падения, среди которых самыми крупными являются Ишимбинский, Татарский и Вятский (рис.2).

«Ишимбинский региональный разлом тянется на 620 км от р. Кана на юге, проходя вдоль р. Усолки до р. Ангары и далее в северо-западном направлении до устьевой части р. Подкаменной Тунгуски» (Сазонов, Ананьев, 2010). Разлом сопровождается мелкими оперяющими разломами, формируя разломную зону с переменной шириной от 6 до 40 км. Падение разлома близко к вертикальному.

Татарский разлом проходит практически параллельно Ишимбинскому, состоит из системы разнонаправленных разломов, отделяя Татарский антиклинорий от Каитыбинского синклинория.

Складчатая структура Заангарской части Енисейского кряжа состоит из антиклинориев: Приенисейского, Центрального, Панимбинского, Татарского, Ангаро-Канского и синклинориев: Исаковского, Больше-Питского, Кордо-Лебяжинского, Катыйбинского, а также прогибов и впадин (рис.3).

На отдельных участках на поверхность выходит древний нижнепротерозойский фундамент Сибирской платформы, образуя карельский структурный этаж, сложенный метаморфизованными терригенно-карбонатными породами тейской серии. «В составе серии выделяются две свиты: нижняя, сланцевая — свита хребта Карпинского (PR_{1hk}) и верхняя, сланцево-амфиболит-мраморная — пенченгинская (PR_{1pn}), метаморфизованные в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций» (Стороженко, Васильев, Динер, 1999).

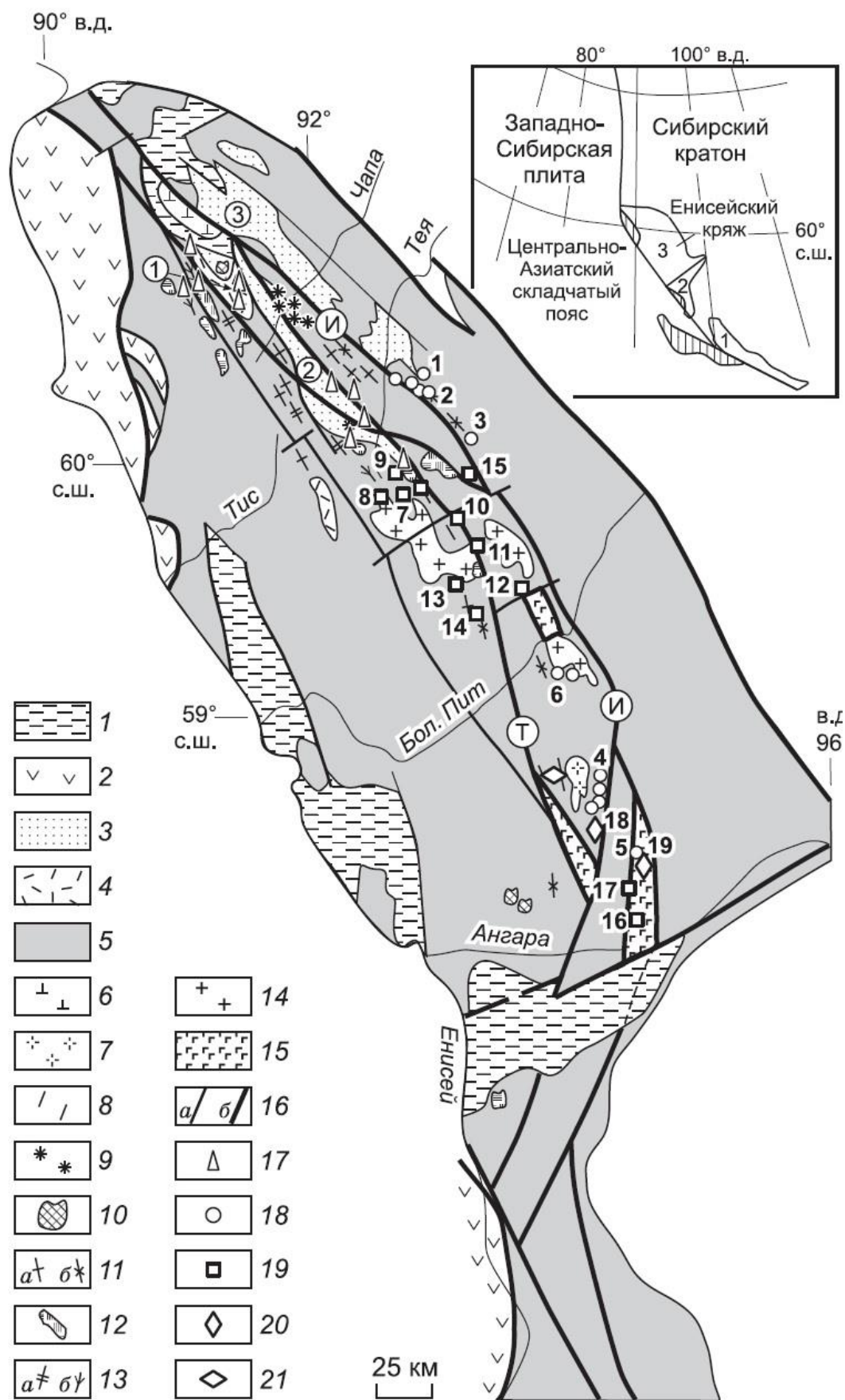


Рис. 2. Схема тектонического положения Енисейского Кряжа в структуре платформы, район Ишимбинской и Татарской зоны разломов. (Ножкин, Борисенко, Неволько, 2011, стр.158—181).

1 — чехол (PZ—KZ); 2 — офиолиты и островодужные комплексы (NP); 3, 4 — рифтогенные терригенные и вулканогенно-терригенные (NP) комплексы чингасанской (3) и верхневороговской серий (4); 5 — нерасчлененные комплексы докембрия (канская, енисейская, тейская, сухопитская, тунгусикская, чапская серии); 6—12 — рифтогенные и внутриплитные комплексы: 6 — вороговский — траппы (Т); 7 — татарский — граниты, субщелочные лейкограниты (~630 млн лет); 8 — приразломные карбонатиты (~650 млн лет); 9 — чапинский комплекс — щелочные пикриты (~670 млн лет); 10 — среднетатарский — фойяиты, ийолиты и захребетнинский — теиениты, нефелиновые сиениты (700 млн лет); 11 — захребетнинский — дайки щелочных сиенит-порфиров (а) и трахидолеритов, камптонитов (б) (700 млн лет); 12 — кутукаский — лейкограниты, субщелочные лейкограниты (700—690 млн лет), гурахтинский — субщелочные граниты, лейкограниты, сиениты (~700 млн лет); 13 — ковригинский — дайки риолит-порфиров (а) и габбро-долеритов (б) (~750 млн лет); 14 — аяхтинский — граниты, субщелочные граниты, лейкограниты (760—750 млн лет); 15 — вулканогенные породы Рыбинско-Панимбинского пояса: мезопротерозойская пикробазальт-базальтовая (>1100 млн лет) и плагиориодацит-базальтовая (780 млн лет) ассоциации; 16 — разломы (а), зоны разломов (б): И — Ишимбинская, Т — Татарская; 17 — урановые и золотоурановые месторождения и рудопоявления; 18 — золоторудные узлы и месторождения золото-кварцевого типа: 1 — Советский; 2 — Александро-Агеевский; 3 — Перевальнинский; 4 — Партизанский; 5 — Раздольнинский; 6 — Аяхтинский; 19 — золоторудные узлы и месторождения золото-сульфидного типа: 7 — Верхнеенашиминский; 8 — Благодатнинский; 9 — Титамухтинский; 10 — Ерудинское; 11 — Панимбинское; 12 — Товрикульское; 13 — Золотой ключ; 14 — Ведугинское; 15 — Кварцевая гора; 16 — Попутнинское; 17 — Боголюбовское; 20 — сурьмяные месторождения: 18 — Удереysкое; 19 — Раздольнинское; 21 — редкометалльные месторождения. Цифры в кружках: 1 — Верхневороговская грабен-синклиналь, 2 — Уволжский грабен, 3 — Тейско-Чапский прогиб. На врезке: 1 — Присаянский, 2 — Ангаро-Канский выступы фундамента юго-западной окраины Сибирского кратона; 3 — протерозойская окраинно-континентальная область Енисейского кряжа; заштриховано — офиолиты и островодужные комплексы позднепротерозойского аккреционного пояса.

Карельский структурный этаж перекрывается комплексом пород ранне-среднерифейского возраста байкальского мегакомплекса. Породы представлены метаморфизованными в зеленосланцевой фации терригенными, терригенно-карбонатными породами сухопитской серии. В низах серии залегает кординская свита (R_{1kd}), сложенная углеродсодержащими хлорит-серицитовыми, кварц-серицитовыми сланцами, филлитами, кварцитовидными песчаниками. Выше залегают темно-зеленые, черные сланцы с прослоями карбонатно-песчанистых пород горбилокской (R_{2gr}) и удерейской (R_{2ud}) свит. Завершают серию алевролиты и песчаники погоруйской свиты (R_{2pg}) и известково-глинистые отложения аладынской свиты (R_{2al}) и свиты карточки (R_{2kr}).

За формированием в результате гренвильского орогенеза и складкообразования енисейского структурного этажа последовало внедрение гранитоидов татарско-аяхтинского комплекса (σ - $\gamma\epsilon R_{3ta}$). Большинство исследователей относят граниты к верхнерифейскому возрасту, определение возраста по цирконам U-Pb методом показало значения 630-625 млн лет (Ножкин, 2008).

К первой фазе ($\gamma_1 R_{3ta}$) относят крупнозернистые, часто порфировидные амфибол-биотитовые, биотитовые граниты и гранодиориты, а ко второй ($\gamma\epsilon_2 R_{3ta}$) — мелко-среднезернистые граниты и лейкограниты. По соотношению петрогенных и редких

элементов они близки к коллизионным гранитам S-типа, характерным для обстановки сжатия (Стороженко, Васильев, Динер, 1999г).

Гранитоиды получили широкое развитие в тектонической структуре Енисейского кряжа, особенно в его центральной части. Большинство гранитов приурочено к сводовым частям антиклиналей, обладают изометричной формой, крупнейшие массивы: Тавликский, Верхнепанимбинский, Аяхтинский, Нижнечиримбинский, Гурахтинский и другие имеют протяженность более 45 км. Некоторые исследователи отмечают, что в прилегающей к гранитоидам полосе отложений низов сухопитской серии, на западе и востоке от гранитных массивов, сформировались компенсационные структуры в виде грабенов, а также синклинальных складок в экзоконтактовых зонах интрузий (Стороженко, Васильев, Динер, 1999).

Выше сухопитской серии залегают породы позднерифейского возраста, представленные потоскуйской (R_{3pt}) и шунтарской (R_{3sn}) свитами тунгусикской серии, удоронгской (R_{3ud}), бореминской (R_{3br}) и рыбинской (R_{3rb}) свитами киргитейской серии и нижнеангарской свитой (R_{3na}) ослянской серии. Породы смяты в линейные и брахиформные складки. Отложения тунгусикской серии представляют собой карбонатно-песчано-глинистые осадки, метаморфизованные в зеленосланцевой фации. Киргитейская серия сложена карбонатно-терригенными отложениями, также метаморфизованными в условиях зеленосланцевой фации. Ослянская серия выполнена терригенно-карбонатными флишевыми отложениями.

1.2 Золотоносность Енисейского кряжа

Енисейский кряж является одним из старейших районов золотодобычи в России. Открытие и разработка россыпей золота здесь начались с конца 19 века по рекам Енашимо, Вангащ, Удерей и их притокам, и уже в то время в долинах рек вскрывались коренные золотоносные образования в виде сульфидизированных кварцевых жил и сланцев.

На территории Северо-Восточного склона Енисейского Кряжа россыпные месторождения и проявления преобладают над коренными, однако, к настоящему моменту, они практически все выработаны. Несмотря на это, россыпное золото добывается и в наши дни различными способами. Протяженность россыпей Енисейского кряжа составляет более 1200 км, наиболее распространены среди них аллювиальные, незначительную часть составляют делювиальные и элювиальные россыпи.

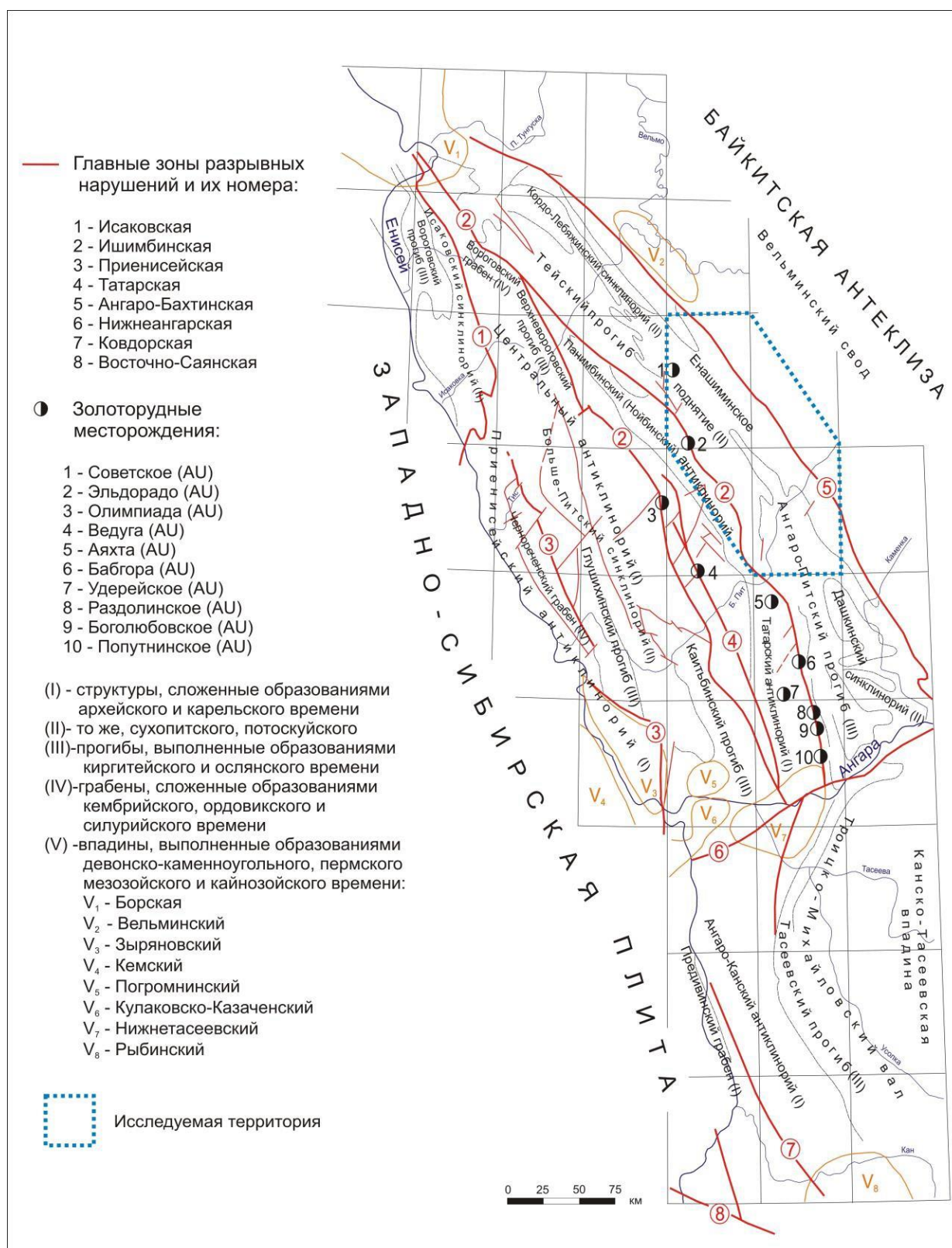


Рис.3. Схема тектонического районирования Енисейского края, составлена по материалам Л.В. Качевского (Фисенко,2016).

В заангарской части Енисейского кряжа выделяются Северо-Енисейский, Ерудинский, Южно-Енисейский рудно-россыпные районы, в пределах которых выделяют Аяхтинский, Средневороговский, Партизанский, Гаревский, Советский и другие рудные узлы (рис.4).

«В пределах исследуемой части Енисейского кряжа выделяются следующие рудные и россыпные формации: золото - кварцевая, золото-сульфидная, золотоносных элювиально-остаточных россыпей, в том числе россыпей кор химического выветривания, элювиально-делювиальных, аллювиальных (долинных, русловых, террасовых) золотоносных россыпей.» (Кривцов, Володин, 2012г).

Золото-сульфидные месторождения тяготеют к Центральной зоне Енисейского кряжа, ограниченной Татарским и Ишимбинским разломами. Одним из ярких представителей данного типа является Олимпиадинский рудный район, включающий в себя месторождения Олимпиадинское, Благодатное, Ручья Золотого.

Олимпиадинское месторождение находится в пределах Верхне-Енашиминского рудного района в северной части Енисейского кряжа. Продуктивным горизонтом является среднекординская подсвита (R_{1kd_2}) сухопитской серии, мощностью около 2000 м, сложенная кремнисто-карбонатными отложениями. Главной рудоконтролирующей структурой месторождения считается Медвежинская антиклиналь, вмещающая рудные тела в восточном крыле и в замке складки. В северо-западной части рудного поля выходит на поверхность интрузивный массив, относящийся к диорит-гранодиорит-гранитовой формации татарско-аяхтинского комплекса. На месторождении развиты разрывные нарушения северо-западного, северо-восточного и субширотного простирания, а также зоны рассланцевания. Руды представлены породами слюдисто-кварц-карбонатного переменного состава и содержат углеродистое вещество и сульфиды: пирротин, арсенопирит, антимонит и пирит в количестве от 2 до 12 %.

Следующими по содержанию золоторудных объектов свитами после кординской являются удерейская (R_{2ud}), в пределах которой развиты крупнейшие золото-кварцевые месторождения северной части Енисейского кряжа: Советское, Ведугинское и другие, и горбилокская, включающая месторождения Эльдorado, Первенец и прочие (рис.4).

Месторождение Советское считалось самым крупным месторождением золота на Енисейском кряже до открытия Олимпиадинского. Локализуется среди черных

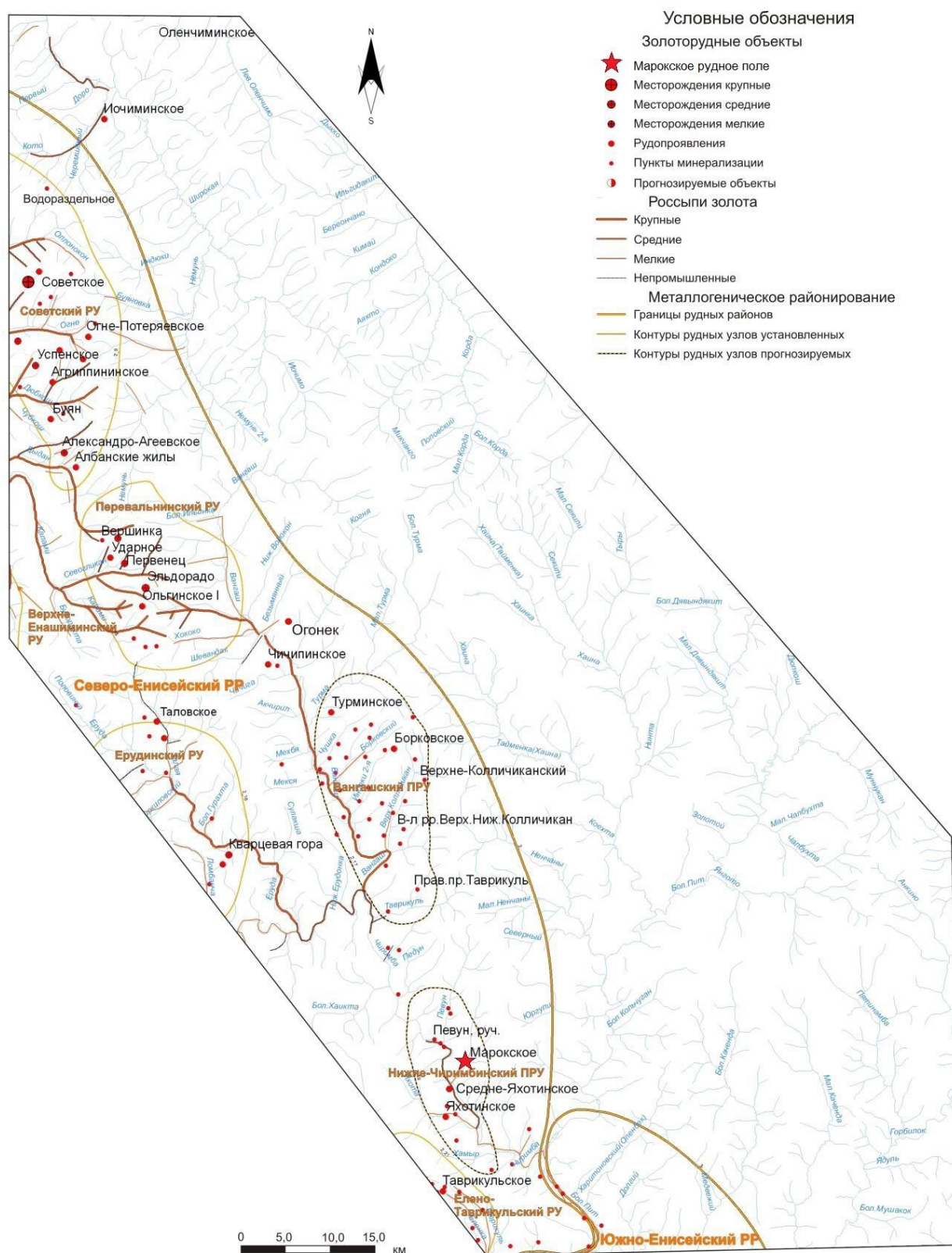


Рис.4. Схема коренной и россыпной золотоносности Северо-Восточного склона Енисейского кряжа (составлена по материалам А.К. Мкртычяна) (Фисенко,2016).

сланцев и филлитов, смятых в складки и нарушенных разломами субширотного и северо-западного простирания.

Все промышленные кварцевые рудные жилы залегают в крыльях и замках складок одного продуктивного горизонта, их форма определяется строением складок. Более 95 % в составе рудных тел занимает кварц, остальное - железистые карбонаты и сульфиды.

Анализ закономерности размещения золотоносных объектов на Северо-Восточном склоне Енисейского Кряжа показывает, что основными рудовмещающими толщами являются кординская (R_{1kd}), горбилотская (R_{2gr}) и удерейская (R_{2ud}) свиты сухопитской серии, причем ведущую роль с большим преимуществом играет кординская (рис.5,6). Эти отложения обладают характерными литолого-фациальными особенностями по сравнению с другими литокомплексами Енисейского кряжа. Они формировались в стадию общего прогибания и фиксируют собою область устойчивого алевро-пелитового осадконакопления, лишь изредка прерывавшегося образованием вулканокластических и карбонатных отложений (Пояснительная записка...,2010).

По тектоническому распределению также проявлена некоторая закономерность в расположении золотых руд вблизи разрывных нарушений, более 70 % из них находятся на расстоянии не более 2 км от разломов. Однако, не все разломы попадают под категорию рудоконтролирующих, основная роль принадлежит Ишимбинскому и Татарскому разломам и зонам их влияния, в то время как находящийся рядом Ангаро-Бахтинский разлом (рис.4) не имеет связи с оруденением.

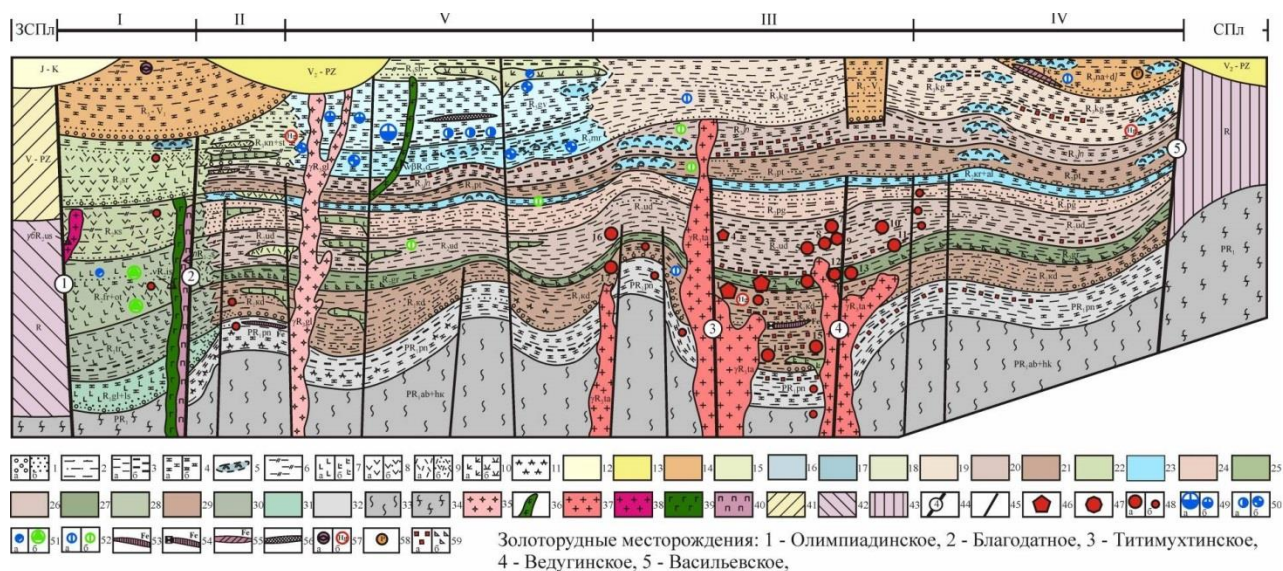


Рис.5.Размещение золоторудных месторождений и месторождений цветных металлов (свинец, цинк, медь) в формациях Енисейского кряжа.(Галямов, Арифурлов,Конкин,2012).

По формационному признаку рудопроявления и месторождения пространственно разделены. Золото-сульфидный тип характерен для западной части Енисейского кряжа и тяготеет к областям с развития амфиболитовой фации регионального метаморфизма, а также к зоне динамического влияния Татарского разлома. Золото-кварцевая минерализация характерна для восточной части Енисейского кряжа и тяготеет к зоне влияния Ишибинского разлома, и к переходной зоне от фации зеленосланцевого метаморфизма к амфиболитовой фации. Именно к полосе развития золото-кварцевой минерализации приурочены наиболее протяженные и продуктивные россыпи.

Связь магматизма с золотоносностью является наиболее спорным вопросом и получает различные оценки значимости у ряда авторов. Изучение вопроса распространения золоторудных объектов в зависимости от отдаленности гранитоидных массивов четырех магматических комплексов продемонстрировало, что более 75% объектов сосредоточено в полосе шириной 10 км от контакта с гранитоидами (Фисенко, 2016). Наиболее значимыми в распределении гранитоидными комплексами являются Татаро-Аяхтинский, Гурахтинский и Ерудинский. Гаревский имеет самое низкое влияние (Фисенко, 2016). При этом все эти комплексы находятся за пределами Северо-Восточной части Енисейского Кряжа, которая является практически амагматичной.

1.3. Марокское рудное поле

Марокское рудное поле расположено в северо-восточной части Енисейского края в низовьях руч. Мароко, являющегося левым притоком р.Чиримба (рис.7,8). Административно территория относится к Северо-Енисейскому району Красноярского края. Северо-Енисейский район расположен на правом берегу реки Енисей, на северо-востоке от города Енисейска, центром района является рабочий поселок Северо-Енисейский, который находится от краевого центра, города Красноярска, на расстоянии 660 км. Через район протекают крупные реки Большой Пит, Сухой Пит, Вельмо, Тея и Енашимо, а также мелкие их притоки Корда, Оленчимо, Печенег, Чиримба, Иочимо, Каменка и др. Расстояние от участка Марокского поля до районных центров Северо-Енисейский и Енисейск составляет, соответственно, 136 и 241 км.

В тектоническом отношении Марокское поле находится на стыке Ангара-Питского синклинория на востоке и Панимбинского антиклинория на западе, граничащих через глубинный региональный Ишимбинский разлом (рис.3). Синклинорий характеризуется достаточно простым строением и пологим залеганием отложений, антиклинорий же представляет собой купольную структуру блоково-надвигового строения с группой гранитных массивов в центре. На северо-западном окончании Ангара-Питского синклинория расположено Енашиминское поднятие, сложенное породами сухопитской серии.

Рудопроявление Марокское вместе со Средне-Яхотинским были выявлены силами ОАО «Красноярскгеолсъемка» в результате поисковых работ в пределах Нижне-Чиримбинского рудного узла на рудное золото 2009-2012 гг (Москалев, 2012). По Марокскому полю оценены прогнозные ресурсы золота категории Р2 в количестве 103 т., в составе которых 93 т золота составляют ресурсный потенциал Марокского прогнозируемого месторождения и 10 т - Средне-Яхотинского. Выявленные прогнозные ресурсы по Марокскому рудному полю апробированы в ФГУП ЦНИГРИ и приняты в количестве 70 т золота категории Р2.

В районе Марокского рудного поля выходят на поверхность описанные выше породы тейской, сухопитской, тунгусикской и киргитской серий, формирующие восточное крыло Певунской горст-антиклинали, а также современные аллювиальные отложения. Нижнепротерозойские и рифейские отложения претерпели региональный метаморфизм эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций, а также метасоматические изменения и рассланцевание.

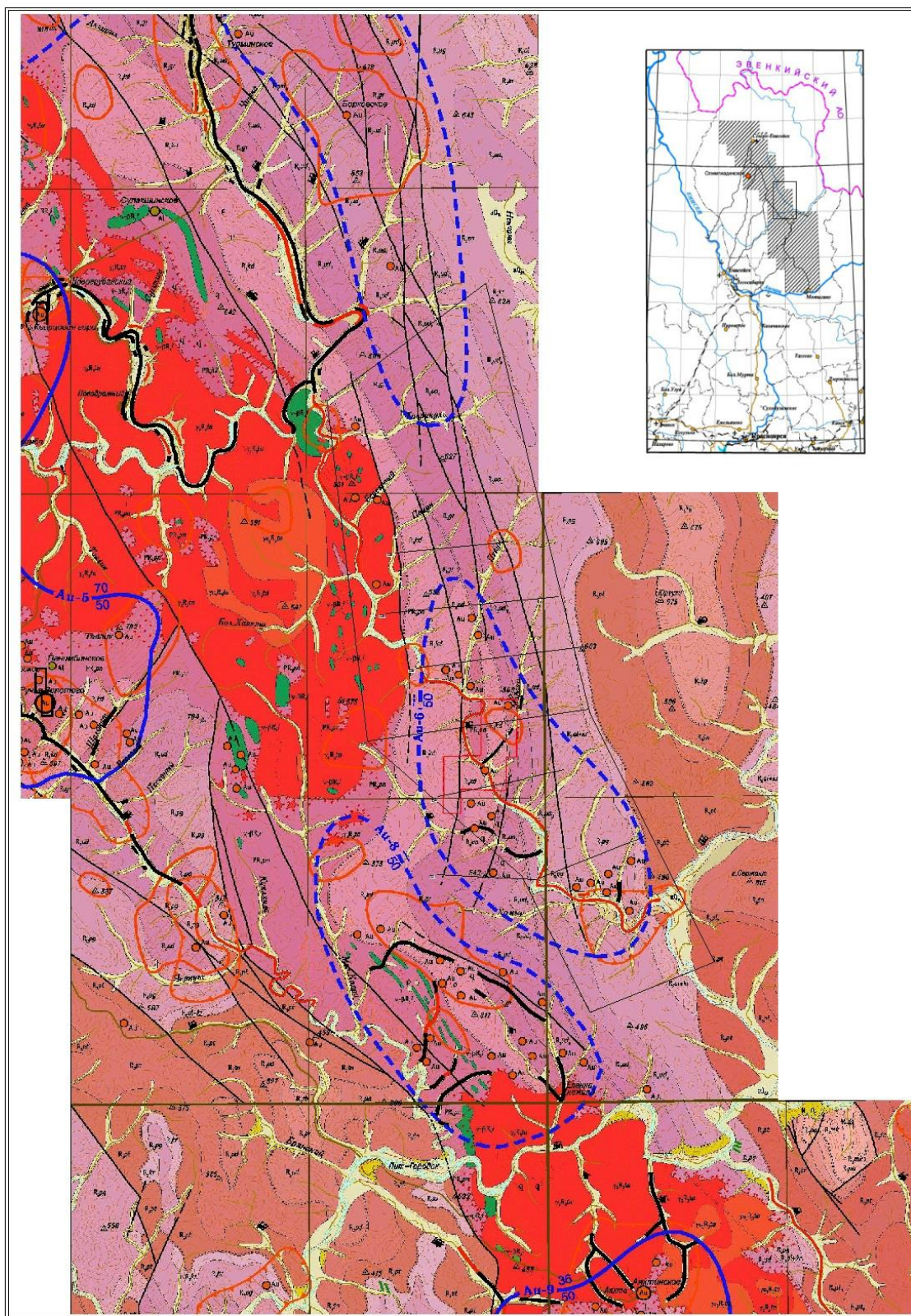
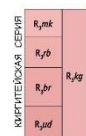


Рис.7. Фрагмент карты полезных ископаемых южной части Енисейской золоторудной провинции, масштаб 1:200 000.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Мокринская свита. Сланцы серицит-глинистые с хлоритомом сероцветные и пестроцветные, линзы алевролитов, песчаников, известняков. (120-380 м).

Рыбинская свита. Сланцы глинисто-серицит-хлоритовые темносерые, черные, пачки и прослои известняков глинистых (иногда пестроцветных) известняков, доломитов строматолитовых. (65-430 м).

Бореминская свита. Сланцы известково-глинисто-серицитовые (эхлоритом) сероцветные, иногда пестроцветные; известняки глинистые плитчатые; прослои доломитов иногда строматолитовых, пачка известняков конгломератовидных (конкреционных?). (70-390 м).

Улоронская свита. Переслаивание сланцев глинисто-серицитовых (эхлорит), алевролитов и песчаников (пелито-алевроито-псаммитовый ритм) прослои кварцитовидных песчаников, линзы микрокристаллических известняков. (170-770 м).

Шунтарская свита. Филлиты углеродистые с хлоритомом, металевоаргиллиты хлорит-серицитовые; слои, прослои черных углеродистых глинистых метавезняков, известково-серицит-глинистых сланцев, металевоаргиллитов. (до 1200 м).

Потоская свита, верхняя подсвита. Темно-серые сланцы, металевоаргиллиты, металевоаргиллиты, прослои хлоритовидных сланцев, известняков, доломитов (400-500 м).

Потоская свита, нижняя подсвита. Темно-серые металевоаргиллиты, в нижней и верхней частях пестроцветные с прослоями кварцитовидных песчаников (500-600 м).

Аладинская свита. Метадоломиты зеленоцветные, метавезняки сероцветные и пестрые доломитовые, карбонатные брекчии, сланцы серицитовые известковистые, линзы магнезитов. Водоросли, микрофиллиты. (100-150 м).

Свита карточка. Метавезняки, сланцы серицит-хлоритовые, металевоаргиллиты, металевоаргиллиты, филлиты, конгломераты (до 500 м).

Погорюйская свита. Ритмичное переслаивание сланцев хлорит-серицитовых, металевоаргиллитов, металевоаргиллитов, кварцитов желтые, светло-серые (до 1500 м).

Удерейская свита, верхняя подсвита. Темно-серые тонкополосчатые филлиты, известковистые тиллиты (400-650 м).

Удерейская свита, средняя подсвита. Темно-серые, зелено-серые сланцы и филлиты, прослои известковистых сланцев и песчаных известняков, известковые конкреции (600-950 м).

Удерейская свита, нижняя подсвита. Темно-серые, черные сланцы кварц-серицит-хлоритовые, кварц-серицитовые углеродсодержащие (500-700 м).

Горбилоская свита. Сланцы серицит-хлоритовые, хлорит-серицитовые, альбит-эпидот-хлоритовые (метатифы базальтов) с магнетитом серо-зеленые, зелено-серые часто тонкополосчатые. Редко тонкие прослои металевоаргиллитов. (600?-900 м).

Кординская свита, верхняя подсвита. Серо- и зеленоцветные сланцы кварц-серицитовые, хлорит-серицитовые, филлиты полосчатые, прослои кварцитовидных песчаников (800-800 м).

Кординская свита, средняя подсвита. Сероцветные филлиты кварц-серицитовые, хлорит-серицитовые, кварциты метаконгломераты, линзы доломитов, известняков (750-1000 м).

Кординская свита, нижняя подсвита. Серо-, зеленоцветные филлиты кварц-серицитовые, хлорит-серицитовые, кварциты метаконгломераты, линзы конгломератов. (2000 м).

Пеннинская свита. Кристаллические сланцы с амфиболом, кальцитом, гранатом, дистеном, графитом; прослои кварцитов, слюдяных кварцитов, графитистых и слюдяных мраморов, амфиболитов (1600-2100 м).

Свита хребта Карпинского. Кристаллические сланцы с амфиболом, дистеном, андалузитом, силпидом, гранатом, графитом; прослои кварцитов, слюдяных кварцитов (1600-2100 м).

Киргитская серия нерасчлененная. Сероцветные аргиллиты, известковистые аргиллиты, часто с хлоритомом, прослои известняков, доломитов (1050-1450 м).

Потоская свита нерасчлененная. Глинистые, алевроглинистые сланцы, металевоаргиллиты, металевоаргиллиты с пачками известняков, доломитов, кварцитовидных песчаников (900-1000 м).

Аладинская свита и свита карточка объединенные. Метадоломиты зеленоцветные, метавезняки сероцветные и пестрые, сланцы серицитовые известковистые (до 700 м).

Удерейская свита нерасчлененная. Темно-серые, черные, реже зеленые сланцы и филлиты кварц-серицит-хлоритовые, углеродсодержащие, часто с сульфидами (1500-2250 м).

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

КИРГИТСКАЯ СЕРИЯ

Разрывные нарушения

а — Главные швы доломатизирующих зон разломов:
а - достоверные, б - предполагаемые,
в - скрытые под вышележащими образованиями

а — Разломы, выходящие на поверхность: а - достоверные,
б - предполагаемые, в - скрытые под вышележащими образованиями



Ареалы интенсивного развития кварцевых жил



Обобщенные контуры аномальных геохимических полей по потокам рассеяния и вторичным ореолам с содержанием золота 0.001 г/т и выше (по данным ГДП-200 и ГТС-50)



Контуры бассейнов водосбора потоков рассеяния золота с содержанием 0.010 г/т и выше по результатам геохимической съемки масштаба 1:500 000 (данные АО "Красноярскгеология")

ЗОЛОТОРУДНЫЕ УЗЛЫ



Выявленные



Прогнозируемые



В читателе запасы и прогнозные ресурсы категорий Р1 и Р2, в знаменателе - прогнозируемые ресурсы категории Р3

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Золото коренное

	Весьма крупные	Крупные	Средние	Промышленные	Прогнозируемые
Благородные металлы	Золото	Золото	Золото	Золото	Золото
Золото-сурьма					

Золото россыльное

Условные обозначения	разрабатываемые, разведанные	промышленные
Базисная ТЭ	разрабатываемые, не выходящие в основное	непроработанные
Отработанные	разрабатываемые	непроработанные
Находящиеся в изучении	разрабатываемые	непроработанные

Рис.8. Условные обозначения к рис.7

Породы нижнего протерозоя вскрываются в ядре Певунской антиклинали, их угол падения варьирует от 20° до 60° из-за осложнения складками высоких порядков. Выше с несогласием залегают породы байкальского структурного этажа, смятые в узкие, линейные, ассиметричные складки с углами падения крыльев от 20° до 85° (в среднем 35° - 40°). Антиклиналь имеет субмеридиональное простирание, осложнена многочисленными разрывами взбросо-сбросового характера и граничит на западе с крупным Нижне-Чиримбинским гранитоидным массивом Татаро-Аяхтинского комплекса, при этом отмечается более напряженное строение крыла антиклинали с западной стороны, в то время как восточное крыло имеет спокойный характер с меньшими углами падения.

Среди отложений тейской серии выделяется Индыглинский метагаббродолеритовый комплекс ($v-\beta R_{li}$), который также участвует в складкообразовании территории и представляет собой пластовое тело мощностью 150-400 м и протяженностью около 10 км. «По особенностям состава породы комплекса идентичны метавулканитам пенченгинской свиты (PR_{lpr}), что с учётом структурного положения интрузий, свидетельствует об их комагматичности.» (Стороженко, Васильев, Динер, 1999).

Рудное поле приурочено к осевой части Ишимбинского разлома, которая образует собой выпуклую в восточном направлении дугу, огибающую западный контакт Нижнечиримбинского гранитного массива. Таким образом, все рудное поле находится в единой зоне макродробления. Разрывы формируют блочное строение территории, крупные разрывы осложнены мелкими оперяющими и зонами расланцевания. Простирание разломов преимущественно северо-западного и северо-восточного направлений.

Несмотря на то, что золотоносность восточного склона Енисейского Кряжа известна с давних времен, его геологическая изученность до сих пор остается слабой и не полной из-за сильной залесенности. Территория Марокского рудного поля полностью охвачена Государственной геологической картой масштаба 1:200 000, второе издание, серия Енисейская, лист О-46-IV. Карта построена по результатам геологосъемочных работ, проводимых в 1994-1995 годах.

Геофизическое изучение территории началось в 1940х годах с проведения аэромагнитных и аэрогравимагнитных съемок мелких масштабов (1:200 000). С 1960г. стали проводится аэромагнитные, а с 1970г. аэрогеофизические съемки в крупном масштабе 1: 50 000-1: 25 000. С 1980х годов ПГО «Красноярскгеология» проводили комплексные аэрогеофизические работы масштаба 1:25000. В 2004-2005 годах на территории Северо Енисейского района проводилась комплексная аэросъемка Норильским филиалом ВСЕГЕИ, включающая в себя магниторазведку, гамма спектрометрию, тепловую инфракрасную съемку ИК масштаба 1: 25000 с использованием современной аппаратуры. Таким образом,

изучаемая территория полностью покрыта геофизическими съемками, из которых наиболее детальными данными характеризуется магниторазведка.

Территория также покрыта геохимической съемкой масштаба 1:500 000, работы более крупного масштаба велись вблизи крупных рудных узлов. В 1976 г. был составлен атлас геохимических аномалий масштаба 1:200 000 на основе анализа всех предшествующих материалов различных масштабов, а в 1990 г. была выпущена исправленная и дополненная серия геохимических карт масштаба 1:100 000.

Марокское рудопроявление выделяется аномалиями повышенного содержания мышьяка в донных осадках и во вторичных ореолах рассеяния. Отмечается большое количество точечных литохимических аномалий золота, мышьяка, молибдена, а также аномалия свинца.

История золотодобычи на данной территории берет свое начало с середины XIX века. «Золотоносные отложения в приустьевой части ручья Мароко отрабатывались еще в 1845-71 годах, результаты добычи, однако, неизвестны. В 1914 году вблизи устья ручья Мароко работал прииск Благонадежный в долине реки Чиримбы, а также прииск Спасский непосредственно по ручью Мароко. В 1912-16 годах ниже устья Мароко по долине реки Чиримбы проводились разведочные шурфовые работы с частичной отработкой, но сведения о добыче не сохранились. В 1950х-58 годах в этом районе проводились поисковые работы с выделением Средне- и Нижне-Чиримбинских дражных полигонов.» (Вызу, 1983)

На территории Марокского рудного поля выделяются несколько россыпей: ручья Яхота, длиной более 7 км и шириной до 90 метров, ручья Мароко, длиной около 4 км и шириной до 70 м и Нижне-Чиримбинская, длина которой превышает 20 км, а ширина составляет приблизительно 4 м.

Рыхлые отложения ручья Мароко представлены галькой, щебнем сланцев, кварца в глинистом цементе. Распределение золота неравномерное, колеблется от 0 до более 6 тыс. мг/м³. Отложения реки Яхота представлены мелкой галькой, кварцем, также заключенными в глинистый цемент. Помимо мелкого золота встречаются крупные самородки до 2 кг.

«Геохимические исследования масштаба 1:25 000, проводившиеся в 2009-2011 годах на территории, охватывающей Марокское рудопроявление, позволили выявить две аномальные геохимические зоны золота субмеридианальной ориентировки (рис.9). Зоны сформированы субпараллельными аномалиями золота интенсивностью до 300 мг/т и до 1000 мг/т - центральная и восточная, соответственно. В пределах выявленных зон отмечаются слабоконтрастные ореолы мышьяка, концентрации которого в эпицентрах аномалий превышают 600 г/т и аномалии серебра интенсивностью до 0,04 г/т.» (Фисенко, 2016г).

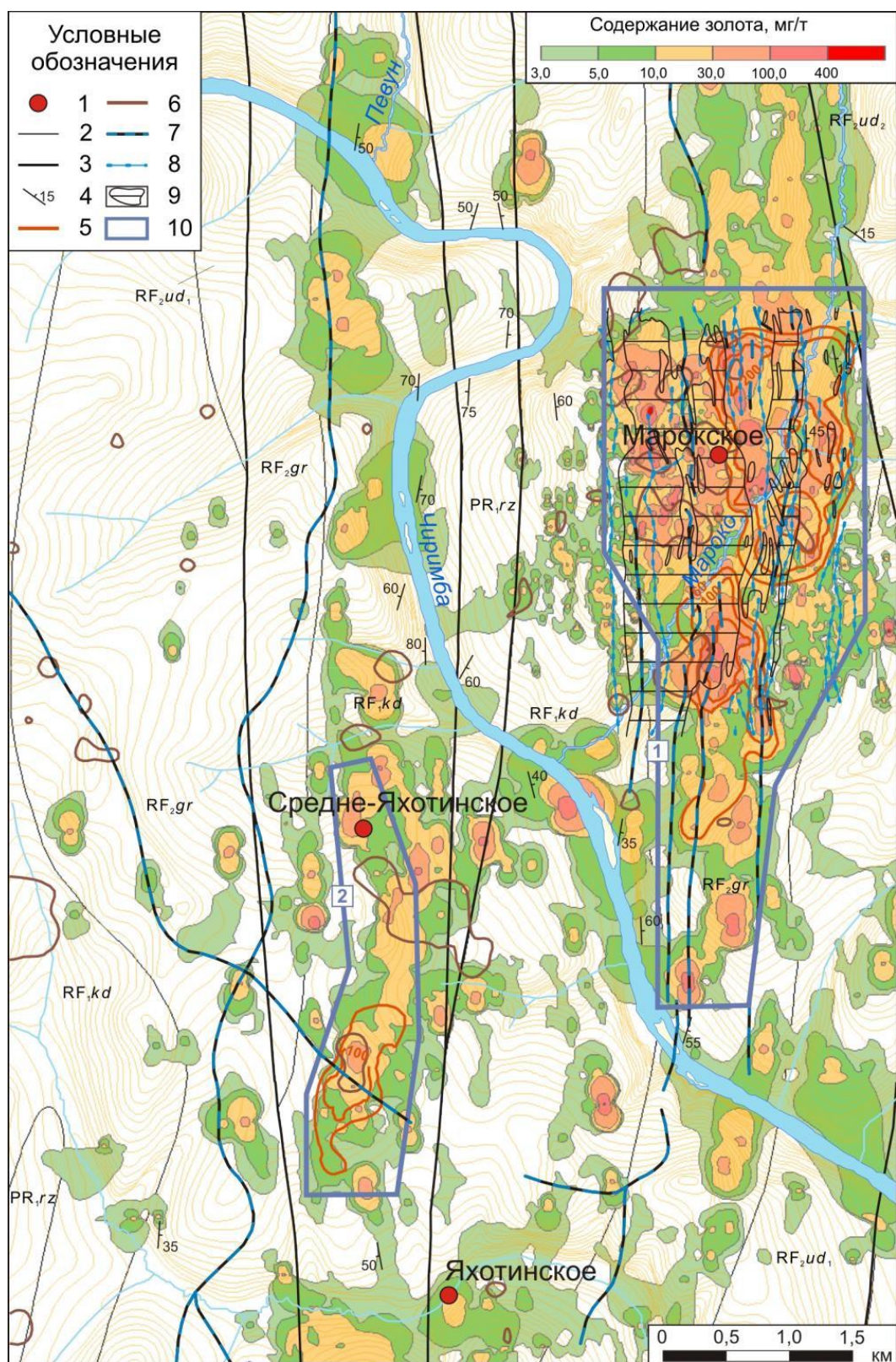


Рис.9. Положение рудопроявлений Нижне-Чиримбинского потенциального рудного узла во вторичных геохимических (золота, мышьяка и серебра) и геофизических полях (составлена по материалам В.А. Москалева)

1 – рудопроявления золота; 2 – геологические границы; 3 – тектонические нарушения; 4 – элементы залегания пород; 5 – изолинии концентраций мышьяка (в

г/т); 6 – аномалии серебра (K_k более 1,5); 7 – осевые линии магнитных аномалий интенсивностью более 50 нТл; 8 – осевые линии аномалий вызванной поляризуемости (более 2%); 9 – контур аномалий кажущегося электрического сопротивления (более 2000 Ом·м); 10 – контур продуктивных минерализованных зон.

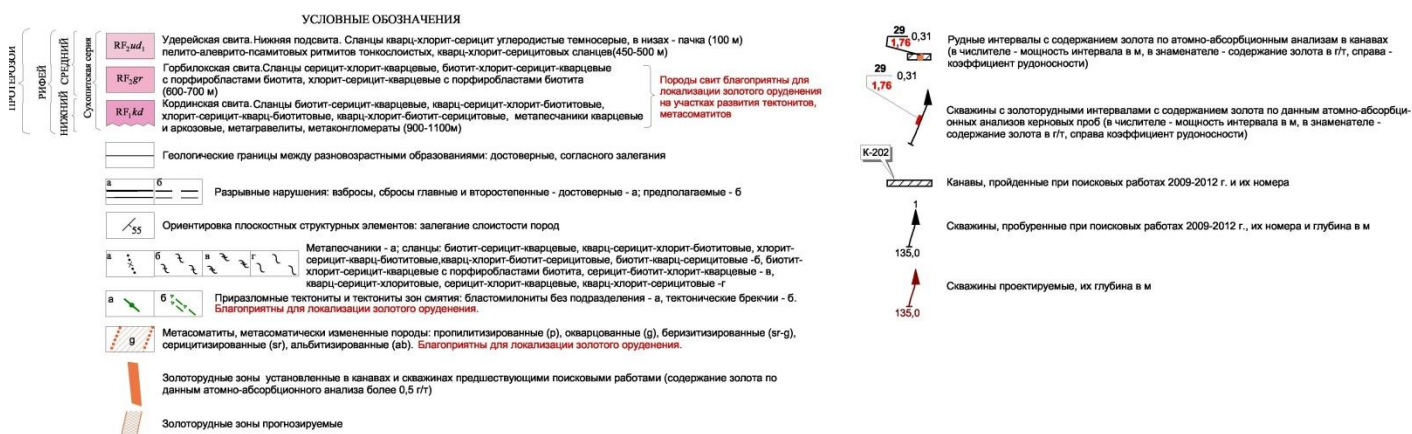
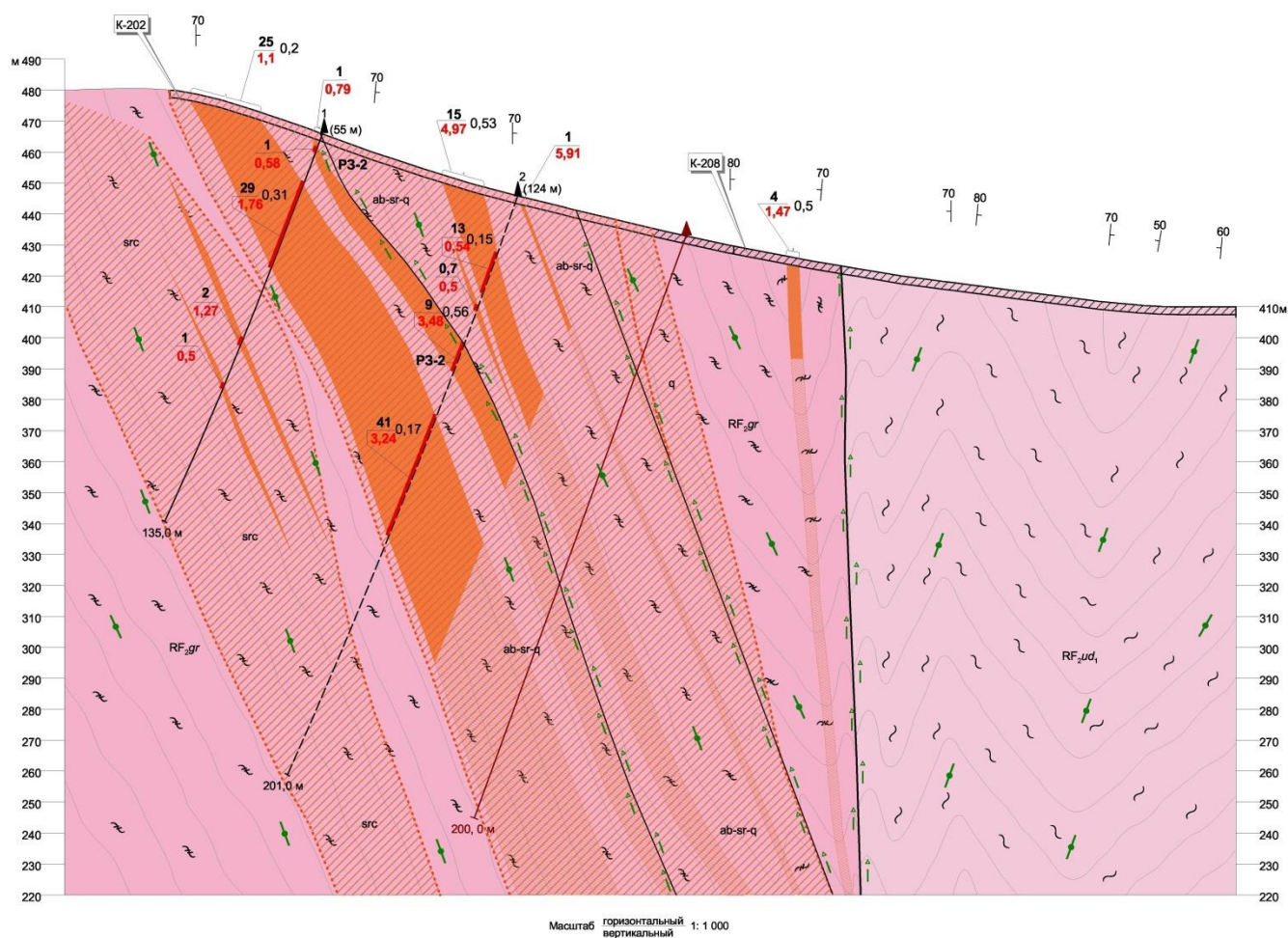
С геохимическими аномалиями центральной аномальной геохимической зоны пространственно совпадают рудопоявления Яхотинское и Средне-Яхотинское, в пределах восточной аномальной геохимической зоны локализовано рудопоявление Марокское. Все три рудопоявления относятся к прогнозируемому Нижне-Чиримбинскому рудному узлу (рис.10), расположенному в бассейне р. Чиримба и ее притоков.

Яхотинское проявление находится в среднем течении руч. Яхота и представлено золотоносными кварцевыми жилами малой мощности. Жилы тяготеют к зоне разломов и содержатся преимущественно в кординской (R_{1kd}) свите, характеризуются неравномерным содержанием золота.

Средне-Яхотинское проявление локализовано на водоразделе руч. Яхота и р.Чиримба. Золоторудные зоны представляют собой метасоматически измененные сланцы, включающие кварцевые жилы и прожилки различной ориентировки, тяготеющие к Певунской зоне разломов.

Марокское проявление локализовано в бассейне р. Мароко. Золоторудные зоны рудопоявления представляют собой жильно-прожилковые зоны с маломощными жилами и прожилками кварцевого и карбонатно-кварцевого состава в составе кординской (R_{1kd}), горбилокской (R_{2gr}) и удерейской (R_{2ud}) свит (рис.11).

«В пределах Марокского рудного поля по результатам геологоразведочных работ выделены 4 сближенные минерализованные зоны субмеридионального простирания: Центральная, шириной 300-350 м и протяженностью до 1500 м; Западная, шириной 450 м и протяженностью 1800 м; Восточная, вскрытая ширина ее составляет около 150 м (предполагаемая около 300 м) и протяженность около 1400 м; Южная, прогнозируемая мощность которой около 400 м при протяженности до 1100 м.» (Тарасов, Мухаметжанов и др., 2015). Золотоносные жильно-штокверковые зоны характеризуются мощностью от 1 до 25 м и разделены разрывными нарушениями субмеридиональной ориентировки.



развиты гидроокислы железа. Золото отмечается в составе кварцевых жил и прожилков, а также в сростании с сульфидами.

Центральная зона располагается в породах горбилокской свиты (R_{2gr}) и включает в себя рудные зоны различного состава вмещающих пород:

1) Сланцы, состоящие в основном из кварца и серицита, серого и зеленовато-серого цвета, березитизированные.

2) Альбит-кварцевые и альбит-серицит-кварцевые метасоматиты с неясной полосчатостью, в составе которых преобладает кварц (до 70 %). Иногда присутствуют такие акцессорные минералы, как эпидот, турмалин, клиноцоизит, циркон и др. Эти породы являются наиболее золотоносными, золото содержится в составе жил и прожилков, в основной массе пород и в сульфидах.

3) Кварц-серицитовые сланцы с включениями альбита, подвергшиеся березитизации.

Восточная зона располагается в породах нижней подсвиты удерейской свиты (R_{2ud_1}) и сложена окварцованными и альбитизированными серицит-хлорит-альбит-кварцевыми и серицит-хлорит-кварцевыми сланцами с повышенным содержанием углеродистого вещества, характеризующимися тонкополосчатой текстурой, с присутствием арсенопирита и лимонита. Золото встречается в виде комков и ксеноморфных, кристаллических и чешуйчатых форм в жильно-штокверковых зонах, в пределах которых выделяются рудные тела мощностью от 1 до 16 м.

На границе центральной и западной зон находится южная золотоносная зона в отложениях горбилокской (R_{2gr}) и удерейской (R_{2ud}) свит. Рудные тела представляют собой жильно-штокверковые зоны в различной степени измененных хлорит-серицитовых сланцах. Золото находится в составе кварцевых прожилков, во вмещающих породах и сульфидах (Фисенко, 2016).

На территории Марокского рудного поля широко представлены продукты гидротермально-метасоматических процессов, тяготеющие к зонам рассланцевания. Метасоматические преобразования проявлены в виде серицитизации, окварцевания, березитизации, сульфидизации, альбитизации, углеродизации. Мощность метасоматически измененных пород меняется от первых метров до первых сотен метров.

Березитизированные метасоматиты состоят преимущественно из кварца (35-45%) и серицита (30-35%), также присутствуют в различном соотношении биотит, хлорит, альбит, гранат, кальцит, пирит, пирротин, ильменит, турмалин, сфен и апатит.

В состав серицит-хлорит-альбит кварцевых метасоматитов входят такие минералы, как кварц (до 65%), альбит, хлорит, серицит, арсенопирит, скородит, мусковит, биотит, гранат, турмалин, сфен, ильменит и магнетит, углеродистое вещество.

Повышенным содержанием углеродистого вещества (до 10%) характеризуются серицит-хлорит-кварцевые сланцы.

Сульфидизация проявлена достаточно интенсивно и представлена в основном вкрапленностью пирита и пирротина, в подчиненном количестве присутствуют арсенопирит, халькопирит, ковеллин, марказит, сфалерит.

Углеродистые метасоматиты в основном представляют собой черные тонкочешуйчатые породы углеродисто-серицит-кварцевого состава с примесью турмалина и пирротина.

Основным минералом золотоносных жил является кварц, который представлен в нескольких разновидностях: кварц, образующий редкие, мощностью до 30 см жилы от белого до молочно-белого цвета, серый, серо-голубой, полупрозрачный, трещиноватый с лимонитом.

Интенсивность метасоматических преобразований вмещающих пород тем выше, чем ближе они расположены к зоне влияния регионального разлома. Таким образом, ослабленность и трещиноватость пород, связанные с крупным разломом, являются предпосылкой для образования оруденения. Поэтому, можно считать Ишимбинский разлом на данном участке основным рудоконтролирующим фактором.

Генетическая связь золотооруденения с Нижне-Чиримбинским гранитоидным массивом неясна и, вероятно, отсутствует. Однако, по мере удаления от интрузии и Ишимбинского разлома, наблюдается снижение интенсивности метасоматических процессов и уменьшение разнообразия рудных минералов в рудных зонах и породах околорудного пространства (Фисенко, 2016).

Отмечается также литолого-стратиграфический контроль оруденения: Средне-Яхотинское и Яхотинское рудопроявления сосредоточены в пределах одной кординской свиты (R_{1kd}), Марокское рудопоявление в пределах кординской (R_{1kd}), горбилонской (R_{2gr}) и удерейской (R_{2ud}) свит. Представленная связь прослеживается не только в пределах рудного поля, но и практически по всему Енисейскому краю. Перечисленные свиты вмещают основное количество золоторудных объектов (58,73%) и запасов золота (99,8%) (Фисенко, 2016).

2. Отражение Марокского рудного поля в геофизических полях

На площади Марокского рудного поля были проведены геофизические работы силами ОАО «Красноярскгеолсъемка» в 2012 году в составе наземной магниторазведки и электроразведки ВП (симметричное профилирование и ВЭЗ). Общая площадь работ составила 3 кв.км.

В 2013-2014 гг были проведены профильные геофизические работы на территории Средне-Ишимбинской поисковой площади, в пределы которой попадает Марокское РП.

Работы проводились по шести опорным профилям длиной от 8 до 13 км и общей протяженностью 61км. При этом Марокское рудное поле было пересечено профилями 2,3,6. Выполнялись следующие виды работ: магниторазведка (с шагом 5 м по всей длине профилей), гравиразведка с шагом 100м, профильные измерения ВП с установкой срединного градиента, где длина питающей линии была АВ 2-2.5 км, а шаг по профилю составлял 20 м. На опорных профилях 3 и 2 была выполнена электротомография ВП.

Геофизическая съемка по опорным профилям сопровождалась заверочными геологическими маршрутами методом геологического обследования и отбором литохимических проб по вторичным ореолам рассеяния.

Сопоставление материалов аэрогеофизических работ предшествующих лет с данными наземной геофизики позволили уточнить геологическое строение территории, скорректировать положение границ свит, выделить многочисленные разломы.

По данным гравиразведки Певунская антиклиналь выделяется положительной аномалией интенсивностью около 10 мГал, при этом центр аномалии немного сдвинут в восточном направлении от оси антиклинали. Положительные значения вызваны повышенной плотностью пород нижнепротерозойского возраста, вскрывающихся в центральной части.

В поле силы тяжести выявлены локальные максимумы и минимумы, связанные с минеральным составом пород и наложенными процессами (рис.12).

Печенгинская свита(PR_{1pn}) характеризуется локальным максимумом интенсивностью до 0.7-1 мГал, вызванным присутствием в составе свиты мрамора, амфиболитов и кианита.

Положительными аномалиями отмечаются также удерейская (R_{2ud}) и горбилокская свиты (R_{2gr}). Удерейская свита имеет повышенную плотность из-за сланцевого состава с включениями сульфидов, значения $\Delta g_{буге}$ практически соответствуют значениям над Печенгинской свитой, превышая их незначительно над профилем 2. Горбилокская свита содержит в себе Fe-Mg карбонаты, за счет чего образуется невыдержанная по всему объему свиты аномалия с меньшей интенсивностью - до 0,8 мГал.

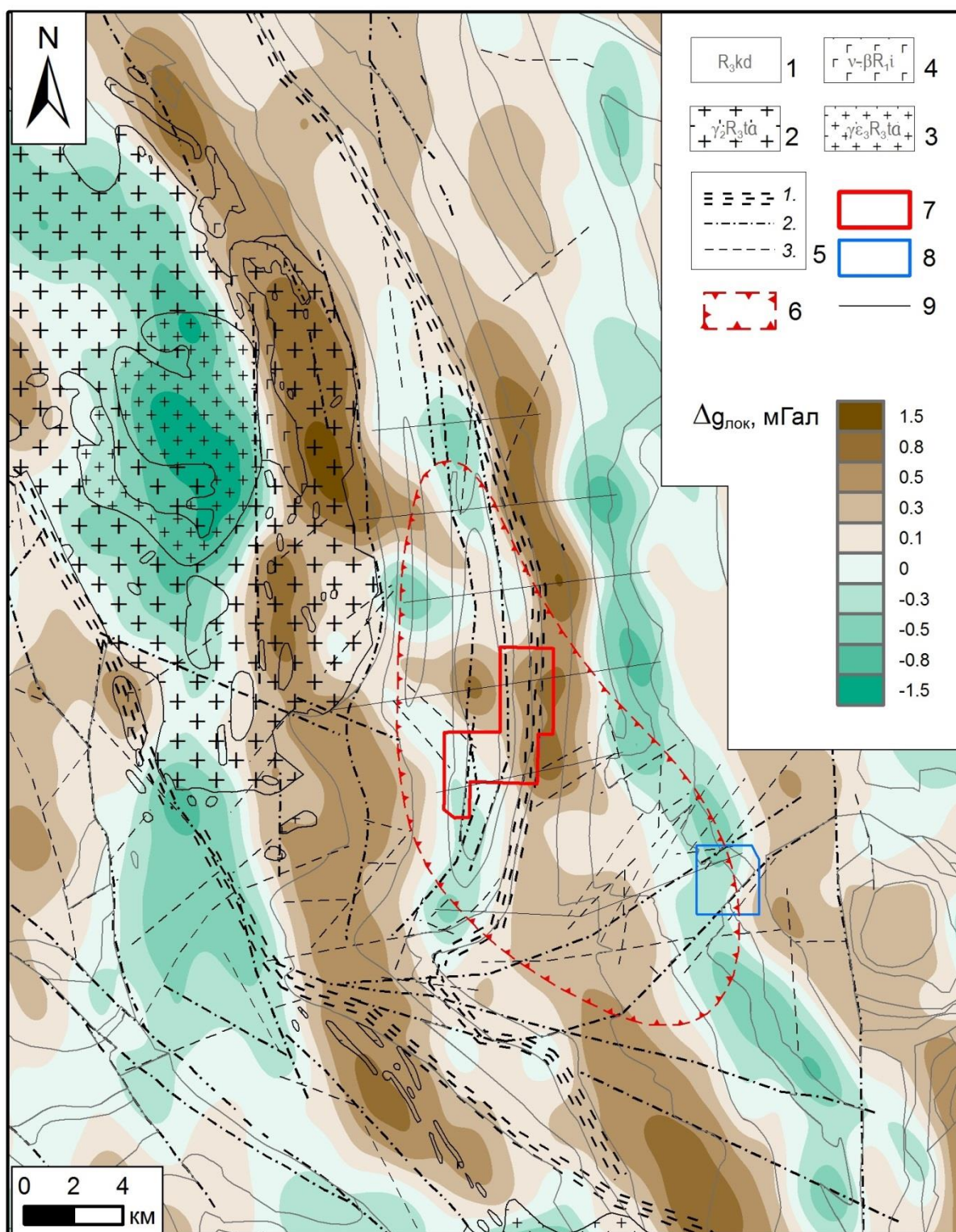


Рис.12.Локальная составляющая поля силы тяжести. Масштаб 1:200 000.

(Тарасов, Мухаметжанов и др., 2015).

1)Контурсы геологических формаций; Нижнечиримбинский гранитоидный массив:

2)первая фаза,3) вторая фаза, 4) Индыглинский ортоамфиболитовый комплекс, 5)

Разрывные нарушения: 1.Зона смятия Ишимбинского регионального разлома, 2. Разломы I-go

порядка, 3. Разломы II-го порядка, 6) Контур Нижнечиримбинского рудного узла, 7) Контур Марокского рудного поля, 8) Контур участка Южный, 9) Линии опорных геофизических профилей

Минимумом до -2 мГал отмечается контакт объединенных свит аладьинской и карточки (R2kr+al) с вышележащей потоскуйской свитой (R3pt), связанный с преимущественно песчанистым составом пород.

Отрицательной аномалией выделяется Нижнечиримбинский массив ($\sigma\text{-}\gamma\text{R}_3\text{ta}$), с интенсивностью от -10 до -13 мГал, сложенный низкоплотными гранитоидами. Помимо контура вскрытых пород массива на карте локальной составляющей (рис.12) прослеживается продолжение отрицательной аномалии пониженной интенсивности, являющейся, вероятно, продолжением гранитоидов на глубине.

Линейные, непродолжительные по протяженности, отрицательные аномалии, не связанные с литологическими горизонтами, выделяют зоны разломов и рассланцевания.

В гамма - полях в основном проявлены литолого-стратиграфические комплексы. Ядро Певунской антиклинали выделяется линейной аномалией пониженной радиоактивности (около 4 мкР/ч). Низкой радиоактивностью также характеризуются карбонатные породы альдинской свиты и свиты карточки. Повышенной радиоактивностью характеризуются породы существенно сланцевого состава (удерейская свита, потоскуйская свита и шунтарская свита) (Тарасов, Мухаметжанов и др., 2015).

Для удаления из гамма-полей ландшафтной составляющей, связанной с условиями обнаженности, использовался метод АРК. По радиоактивности породы разделяются на 12 классов, отличающихся от фонового содержания, обозначенных различными цветами: U,Th,K,с РЭ >1,3 единиц стандартного отклонения, выделяемые насыщенным цветом, и < 1,3, более светлых оттенков, а также их комбинации по два элемента- U+K, U+Th, Th+K (рис.13). По карте вторичной радиогеохимической зональности удерейская свита (R_{2ud}) отмечается ториевой специализацией, кординская (R_{1kd}) и горбилотская (R_{2gr}) – калиевой. При этом интенсивность калиевых аномалий на крыльях антиклинали отличается, что указывает на отсутствие стратиграфического контроля в их размещении. Скорее всего, источником повышенного содержания калия является серицит, образовавшийся при метасоматических процессах. Калий - урановая специализация характерна для средней (R_{2ud2}) и верхней (R_{2ud3}) подсвиты удерейской свиты и погорюйской (R_{2pg}) свиты. Калий - урановые зоны также связаны с наложенными процессами: беризитизацией и пропилитизацией пород.

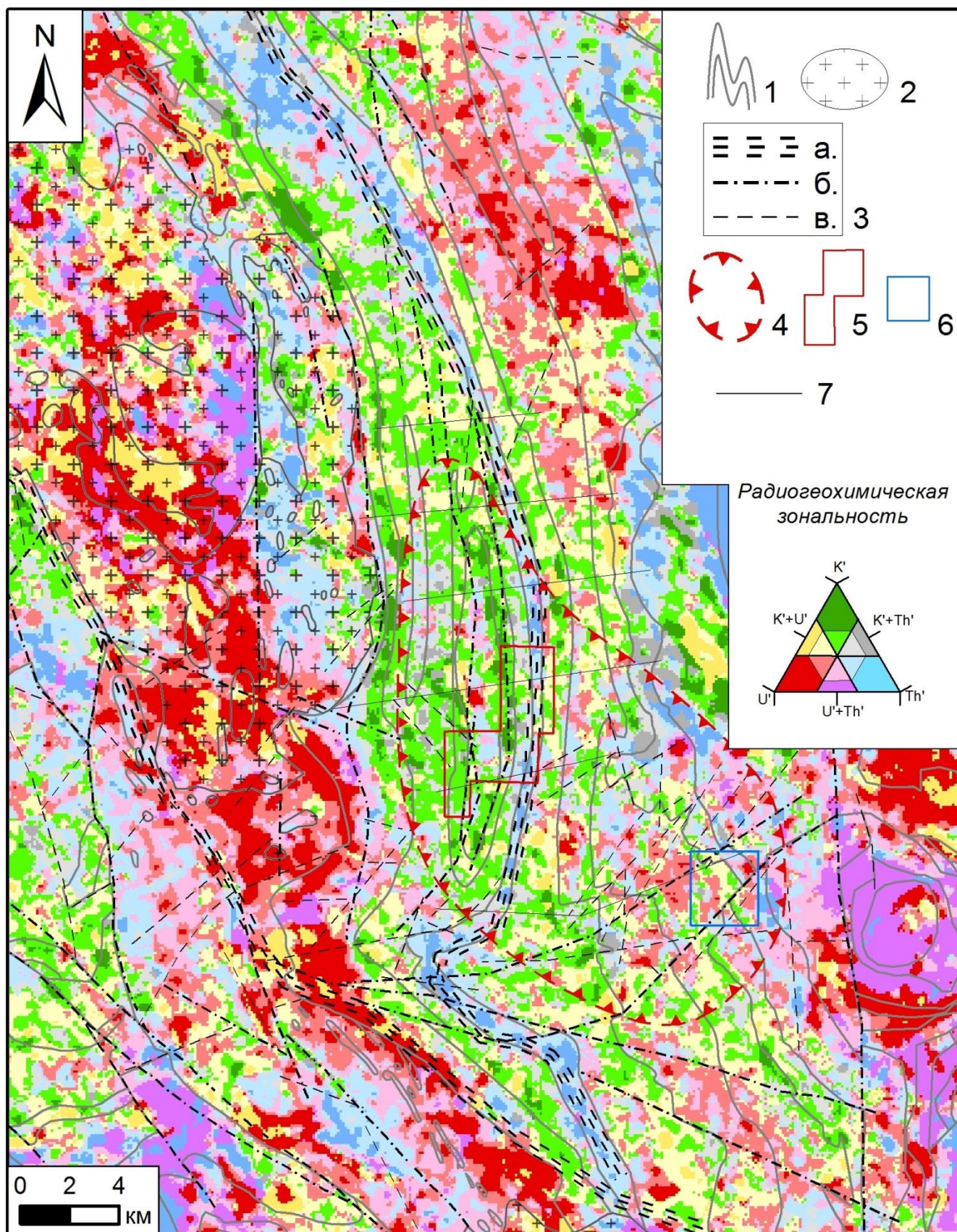


Рис.13. Вторичная радиогеохимическая зональность на южном фланге Средне-Ишимбинской площади (Тарасов, Мухаметжанов и др., 2015).

1) Контуры геологических формаций, 2) Нижнечиримбинский гранитоидный массив, 3) Разрывные нарушения: а). Зона смятия Ишимбинского регионального разлома, б). Разломы I-го порядка, в). Разломы II-го порядка, 4) Контур Нижнечиримбинского рудного узла, 5) Контур Марокского рудного поля, 6) Контур участка Южный, 7) Линии опорных геофизических профилей

Гранитоиды Нижнечиримбинского массива ярко выделяются повышенной радиоактивностью. Первая фаза комплекса характеризуется преимущественно урановой специализацией, в то время как вторая фаза отмечается высоким содержанием U+Th..

В целом, зональность распределения радиоактивных компонент позволяет существенно уточнить геологическое строение территории и определить положение границ комплексов.

В магнитном поле выделяются области линейных аномалий, занимающих большую часть площади, аномалий мозаичной структуры и области спокойного характера, наиболее контрастным участком является центральная часть карты (рис.14). В целом, породы обладают пониженной намагниченностью с отдельными магнитными горизонтами.

Слабой отрицательной аномалией выделяется гранитоидный массив. Рисунок магнитного поля на этом участке отличается от остальной территории спокойным недифференцированным характером и представляет собой изометричную фигуру, вытянутую в северо-западном направлении и имеющую продолжение за пределами листа карты.

Над породами пенченгинской свиты (PR_{1pn}) наблюдается линейно вытянутое, мозаичного характера поле со сменяющимися друг друга положительными и отрицательными аномалиями с тяжело прослеживаемыми осями. Вероятно, это связано с сильными деформациями и складчатостью отложений, нарушенных многочисленными разломами. В центральной же части Певунской антиклинали выход отложений этой свиты отмечается отрицательной аномалией.

Залегающие среди отложений нижнепротерозойского возраста габброиды и ортоамфиболиты Индыглинского комплекса (v-βR_{1i}) характеризуются отдельными участками положительных аномалий.

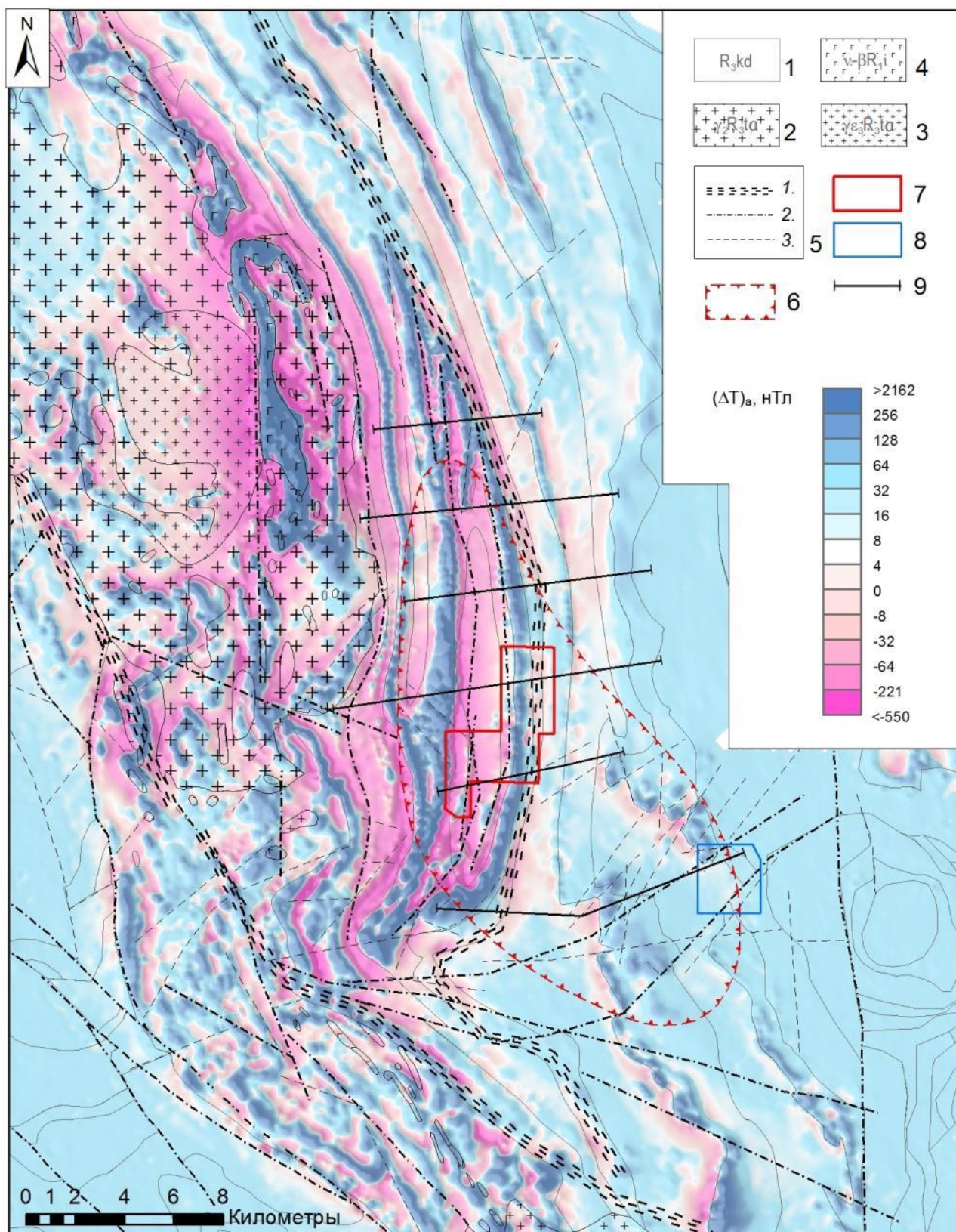


Рис.14. Структура магнитного поля в пределах Средне-Ишимбинской площади (Тарасов, Мухаметжанов и др., 2015).

1) Контуры геологических формаций; Нижнечиримбинский гранитоидный массив:
2) первая фаза, 3) вторая фаза, 4) Индыглинский ортоамфиболитовый комплекс, 5)

Разрывные нарушения: 1. Зона смятия Ишимбинского регионального разлома, 2. Разломы I-го порядка, 3. Разломы II-го порядка, 6) Контур Нижнечиримбинского рудного узла, 7) Контур Марокского рудного поля, 8) Контур участка Южный, 9) Линии опорных геофизических профилей

В юго-восточной зоне интенсивные линейные аномалии сменяются отдельными островками положительных аномалий среди относительно спокойного, слабого, отрицательно намагниченного поля. Такое нарушение структурного рисунка связано с гидротермально-метасоматическими процессами, вызвавшими разрушение первичного магнетита.

По смещению осей магнитных аномалий хорошо выделяются разрывные нарушения, поперечные к зоне Ишимбинского разлома. На контактах вытянутых, линейных интенсивных положительных и отрицательных аномалий прослеживаются разломы, направленные параллельно региональному разлому.

В магнитном поле также четко прослеживается изгиб оси Певунской антиклинали в восточном направлении, который подчеркивает огибание складчатыми структурами Нижнечиримбинского гранитного массива, а также общую надвиговую компоненту тектонических движений в восточном направлении (рис.14) (Тарасов, Мухаметжанов и др., 2015).

Карта магнитного поля и карта тилт-трансформаций использовались для уточнения границ геологических формаций в пределах Средне-Ишимбинской площади (рис.15). Как видно из рисунка, на карте тилт-трансформаций все структуры проявлены четче, положительные аномалии выделяются ярким светом, отображаются элементы, не видные в других полях, особенно в юго-западной части участка. Именно по этой карте в основном выполнялось трассирование разломов ввиду их однозначного выделения. Также выполнялось прослеживание магнитных горизонтов в пределах структурных единиц.

Результаты магниторазведки выявили линейные положительные аномалии в составе двух свит - кординской (R_{1kd}) и горбилокской (R_{2gr}). Аномалии связаны с присутствием в составе отложений магнетита, они повторяют складчатую форму пород и проявляют их сложное строение. Выделяются аномалии интенсивностью до 1000 нТл, демонстрирующие осложняющую складчатость замков Певунской антиклинали. Северный замок деформирован и смят в складки высоких порядков, в то время как южный имеет более простую форму. Крылья антиклинали также различаются: западное сформировано сближенными

аномалиями, указывающими на более напряженное складчатое строение по сравнению со спокойным полем на восточном крыле.

Удерейская свита (R_{2ud}) включает в себя два магнитных горизонта с интенсивностью до 250 нТл, характеризующихся небольшой мощностью. Ввиду того, что эти горизонты прослеживаются непостоянно и местами наблюдается изменение знака аномалии, предполагается, что они вызваны присутствием пирротина.

Отдельные магнитные горизонты отмечаются в составе погоруйской свиты (R_{2pg}) и в составе объединенных аладьинской свиты и свиты карточки (R_{2kr+al}).

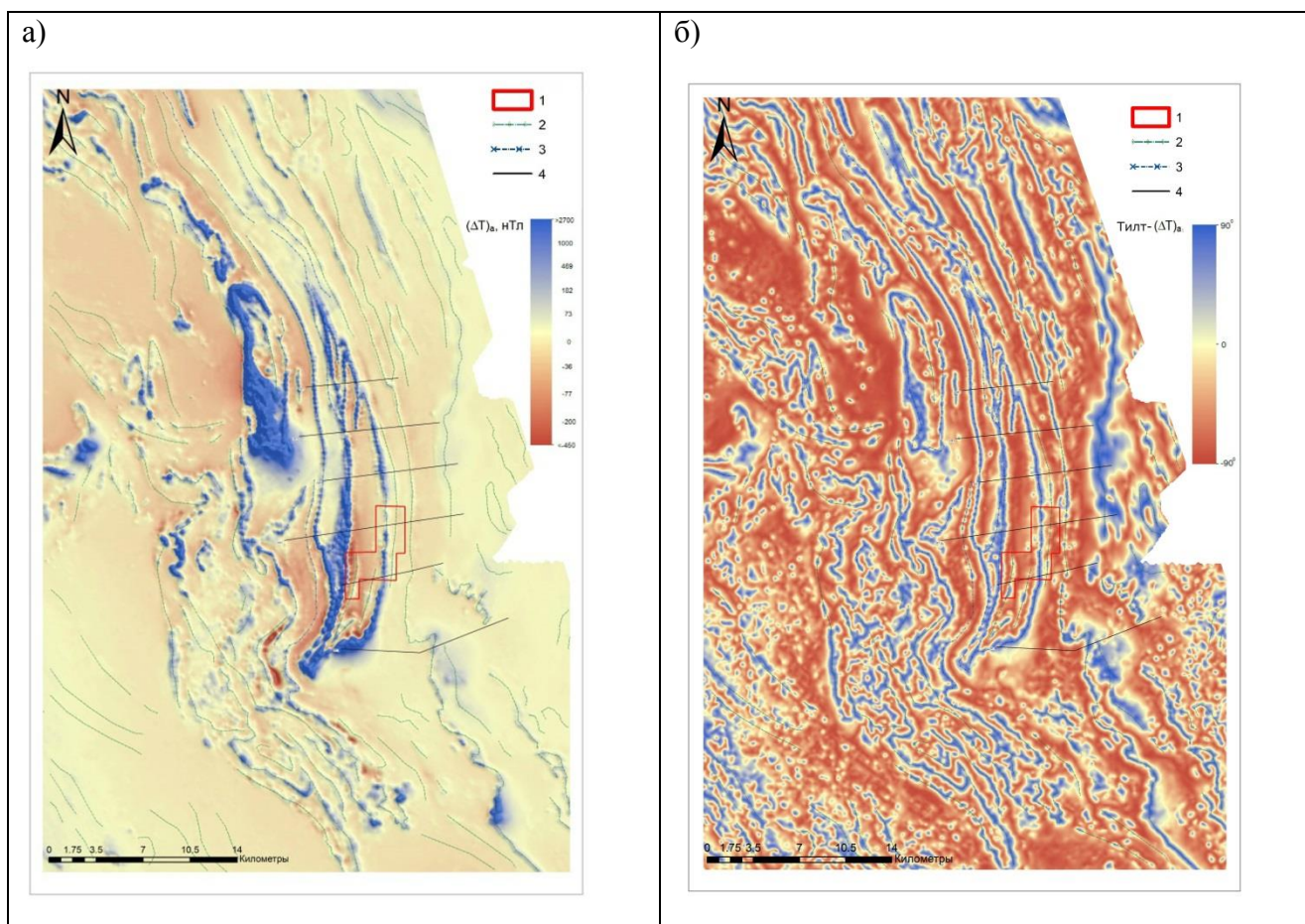


Рис.15. Магнитные горизонты, выделенные а) по структуре магнитного поля, б) по тилт-трансформации магнитного поля.

1) Контур Марокканского рудного поля; Маркирующие магнитные горизонты: 2) Связанные с содержанием пирротина, 3) Связанные с содержанием магнетита, 4) Линии опорных геофизических профилей

В результате выделенные горизонты и разломы были наложены на геологическую карту 200 000 масштаба (рис.16). С использованием в качестве основы геологической карты Северо-Енисейского золотоносного района (Вызу 1979-1983) и геофизических данных были скорректированы границы все свит и интрузивных образований. Конечный результат работ представлен на карте (рис.17).

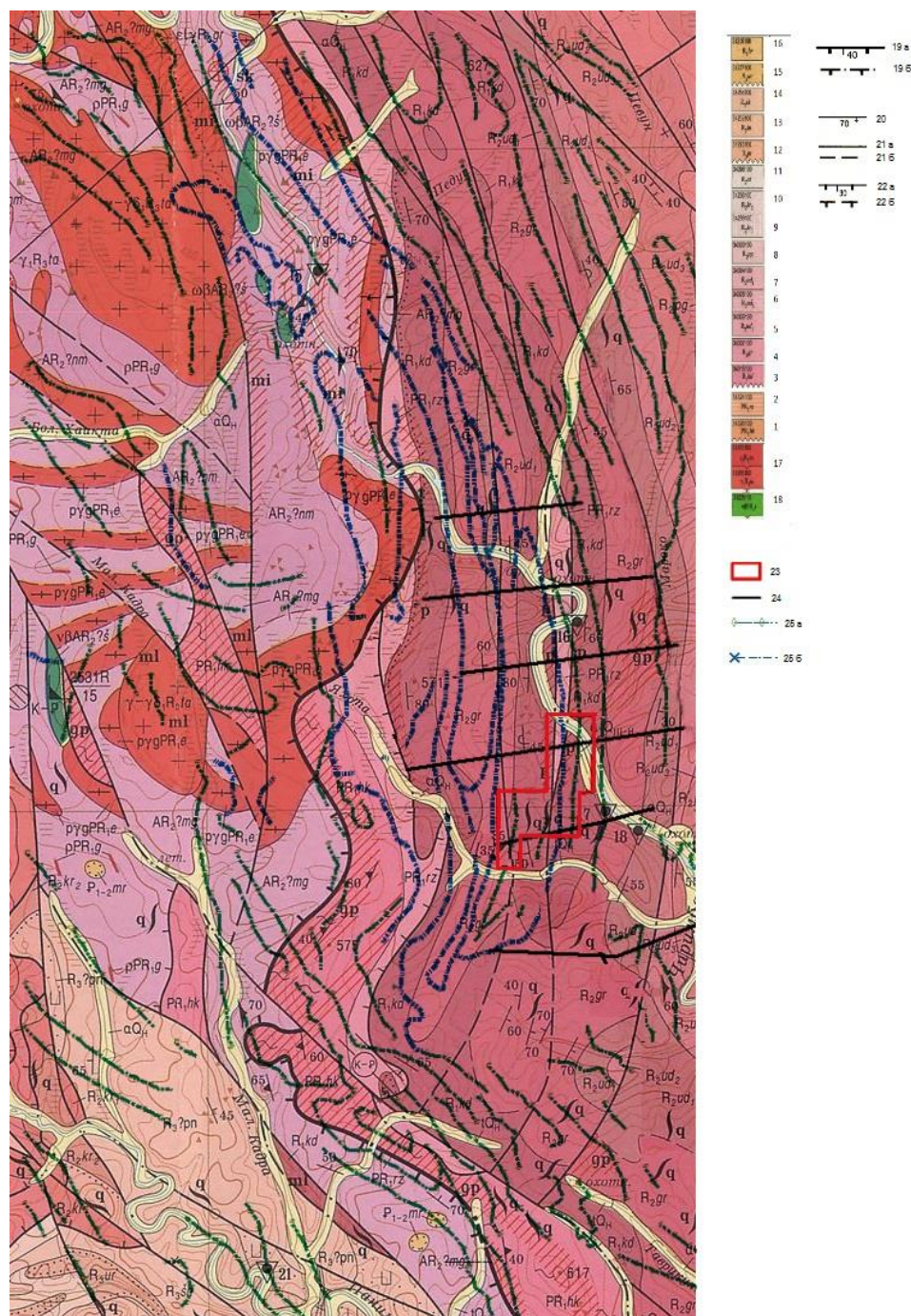


Рис.16. Фрагмент Государственной геологической карты листа О-46-IV с наложенными магнитными горизонтами. Масштаб 1:200 000 (Стороженко, Васильев, Динер, 1999г).

1) Свита хребта Карпинского (PR_{1hk}), 2) Рязановская (Печенгинская) свита (PR_{1rz}), 3) Кординская свита (R_{1kd}), 4) Горбилокская свита (R_{2gb}), 5) Удере́йская свита, нижняя подсвита (R_{2id_1}), 6) Удере́йская свита, средняя подсвита (R_{2id_2}), 7) Удере́йская свита, верхняя подсвита (R_{2id_3}), 8) Погорюйская свита (R_{2pg}), 9) Свита карточки, нижняя подсвита (R_{2kr_1}), 10) Свита карточки, верхняя подсвита (R_{2kr_2}), 11) Аладьинская свита (R_{2al}), 12) Потоскуйская свита (R_{3pt}), 13) Шунтарская свита (R_{3sn}), 14) Свита серого ключа (R_{3sk}), 15) Удоронгская свита (R_{3id}), 16) Боремингская свита (R_{3br}). **Татаро-Аяхинский комплекс гранитовый:** 17) Вторая фаза, 18) Первая фаза. **Разрывные нарушения главные:** 19а) Надвиги достоверные, 19б) Надвиги скрытые. **Прочие разломы:** 20) Вбросы, 21а) Неустановленной морфологии достоверные, 21б) Неустановленной морфологии скрытые, 22а) Надвиги достоверные, 22б) Надвиги скрытые. 23) Контур Марокского рудного поля, 24) Линии опорных геофизических профилей. **Маркирующие магнитные горизонты:** 25а) Связанные с содержанием пирротина, 25б) Связанные с содержанием магнетита.

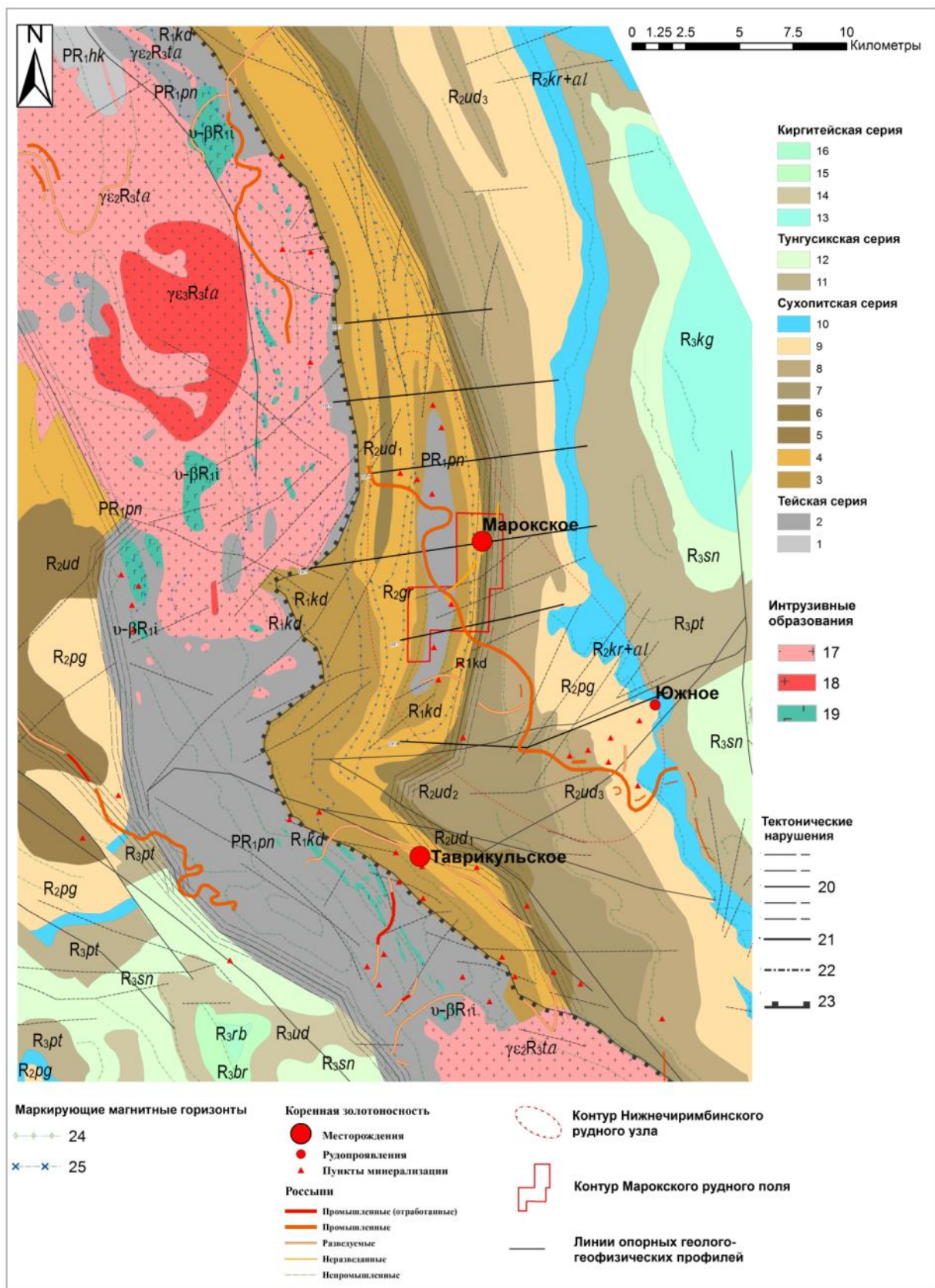


Рис.17.Схема интерпретации геофизических данных. Масштаб 1:200 000.

1) Свита хребта Карпинского. Кристаллические сланцы с амфиболом, дистеном, андалузитом, силлиманитом, гранатом, графитом; прослои кварцитов, слюдистых кварцитов (1600-2100м), 2) Пенченгинская свита. Кристаллические сланцы с амфиболом, кальцитом, гранатом, дистеном, графитом; прослои кварцитов, слюдистых кварцитов, графитистых и слюдистых мраморов, амфиболитов (1600-2100м), 3) Кординская свита, не расчленённая. Сланцы, филлиты хлорит-серицит, кварцевые, углеродсодержащие, прослои и линзы известняков, кварцитовидных метапесчаников, метагравелитов (1400-1800м), 4) Горбилокская свита. Сланцы серицит-хлоритовые, хлорит-серицитовые, альбит-эпидот-хлоритовые (метатифы базальтов) с магнетитом серо-зеленые, зелено-серые часто тонкополосчатые. Редко тонкие прослои метапесчаников, (600?-900 м), 5) Удере́йская свита не расчленённая. Тёмно-серые, чёрные, реже зелёные сланцы и филлиты кварц-серицит-хлоритовые, углеродсодержащие, часто с сульфидами (1500-2250м), 6) Удере́йская свита, нижняя подсвита. Тёмно-серые, чёрные сланцы кварц-серицит-хлоритовые, кварц-серицитовые углеродсодержащие (500-700м), 7) Удере́йская свита, средняя подсвита. Тёмно-серые, зелёно-серые сланцы и филлиты, прослои известковистых сланцев и песчанистых известняков, известковые конкреции (600-950м) 8) Удере́йская свита, верхняя подсвита. Тёмно-серые тонкополосчатые филлиты, известковистые тиллиты (400-650м), 9) Погорю́йская свита. Ритмичное переслаивание сланцев хлорит-серицитовых, метаалевролитов, метапесчаников; кварциты желтые, светло-серые (до 1500 м), 10) Ала́дьинская свита и свита карточки объединённые. Метадоломиты зеленоцветные, метаизвестняки сероцветные и пестрые, сланцы серицитовые известковистые, (до 700 м), 11) Потоску́йская свита не расчленённая. Глинистые, алевроглинистые сланцы, метаалевролиты, метапесчаники с пачками известняков, доломитов, кварцитовидных песчаников (900-1000м), 12) Шунта́рская свита. Филлиты углеродистые с хлоритоидом, метаалевроаргиллиты хлорит-серицитовые; слои, прослои черных углеродистых глинистых метаизвестняков, известково-серицит-глинистых сланцев, метаалевролитов, (до 1200м), 13) Киргитейская серия не расчленённая. Сероцветные аргиллиты, известковистые аргиллиты, часто с хлоритоидом, прослои известняков, доломитов (1050-1450 м), 14) Удору́нгская свита. Переслаивание сланцев глинисто-серицитовых (\pm хлорит), алевролитов и песчаников (пелито-алеврито-псаммитовый ритм) прослои кварцитовидных песчаников, линзы микрокристаллических известняков, (170-770 м), 15) Боре́минская свита. Сланцы известково-глинисто-серицитовые (\pm хлоритоид) сероцветные, иногда пестроцветные; известняки глинистые плитчатые; прослои доломитов иногда строматолитовых, пачка известняков конгломератовидных (конкреционных), (70-390м), 16) Ры́бинская свита. Сланцы глинисто-серицит-хлоритоидные, темносерые, черные; пачки и прослои известняков

глинистых (иногда пестроцветных) известняков, доломитов строматолитовых, (65-430 м). **Татаро-Аяхтинский комплекс:** 17) Первая фаза. Граниты биотитовые, биотит-роговообманковые, мелко-среднезернистые, реже лейкограниты. 18) Вторая фаза. Лейкократовые равномернозернистые граниты, граносиениты, сиениты, 19) **Индыглинский комплекс метагаббродолеритовый. Тектонические нарушения:** 20) Первого порядка, 21) Второго порядка, 22) Третьего порядка, 23) Нижнечиримбинский надвиг. **Маркирующие магнитные горизонты:** 24) Связанные с содержанием пирротина, 25) Связанные с содержанием магнетита.

Геофизические признаки стратифицированных отложений для наглядности были собраны в минерагеническую таблицу (рис.18).

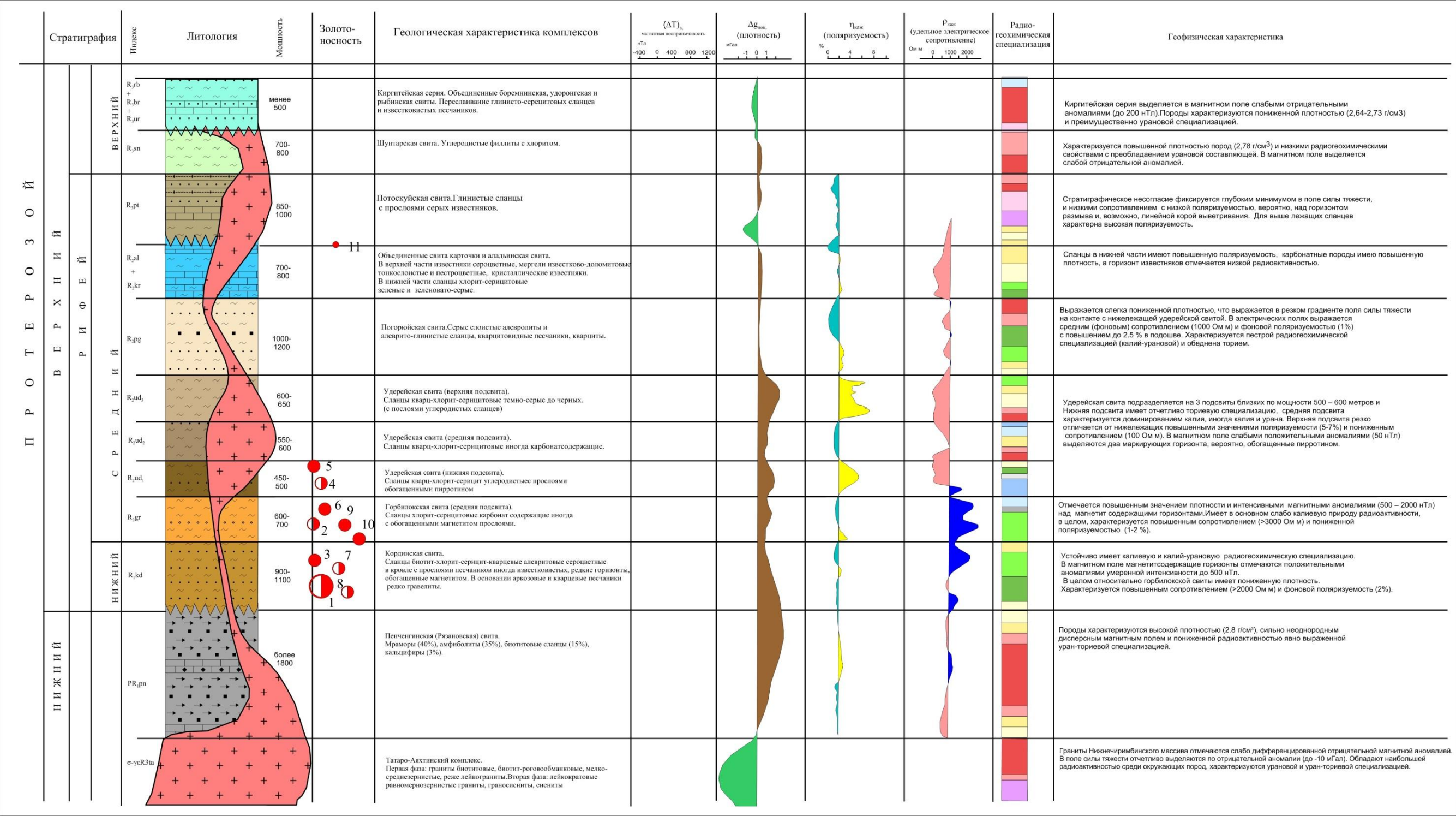
На рисунках 18 - 21 представлены более детальные геофизические поля в пределах Марокского рудного поля масштаба 1:10 000.

Западная золотоносная зона, локализующаяся в отложениях кординской (R_{1kd}) и частично горбилоской (R_{2gr}) свит по значениям намагниченности, поляризуемости и сопротивления разделяется на две части. В ее составе выделяются западная, с окварцеванием и сульфидизацией, и восточная трещиноватая части. Первой соответствуют отрицательные аномалии ΔT до -150 нТл (рис.19), аномалии поляризуемости интенсивностью 2-5% (рис.20) и значения сопротивления от 3200 до 3800 Ом·м (рис.21). Восточная часть характеризуется повышенными значениями магнитного поля до 1000 нТл, которым соответствуют пониженные значения поля поляризуемости (1-2%), сопротивление также отмечается более низкими значениями в пределах 3000 Ом·м.

Центральная золотоносная зона, охватывающая только горбилоскую (R_{2gr}) свиту также по значениям некоторых геофизических параметров делится на две части. В магнитном поле вся зона выделяется отрицательной аномалией до -200 нТл, при этом в восточной части аномалия усиливается практически в два раза. По значениям сопротивления наблюдается похожая картина, западная часть с окварцеванием характеризуется значениями от 3200 до 4000 Ом·м, восточная трещиноватая имеет пониженное сопротивление до 2500-3000 Ом·м. Значения поляризуемости не коррелируют с сопротивлением пород и имеют пониженные значения в западной части зоны (1-3%), и повышенные в восточной (4-6%).

Восточная золотоносная зона, по аналогии с предыдущими зонами, состоит из двух частей. Зона находится в отложениях удерейской свиты (R_{2ud_2}). В магнитном поле не наблюдается ярко выраженной дифференциации, лишь небольшое понижение значений поля на северо-западе до -200 нТл, в целом вся зона охвачена отрицательной аномалией со значениями от -50 до -100 нТл. По значениям поляризуемости западная часть имеет пониженные значения до 2-3 %, в восточной части поляризуемость возрастает до 5-7%. В

местах повышенной трещиноватости породы характеризуются значениями сопротивления около 2000 Ом-м, а в окварцованных участках до 3300 Ом-м.



Месторождения золота:
● Золото-сульфидные ● Золото-кварцевые

1- Олимпиадинское, 2-Благотатное, 3 -Титимухинское, 4- Ведугинское, 5- Васильевское, 6- Эльдорадо, 7- Ручья Золотого, 8 - Михайловское, 9 - Советское, 10- Марокское, 11 - проявление уч. Южный (Средне-Ишимбинская площадь)

Радиогеохимическая специализация



Темные тона: содержание РЭ > 1.3σ.
(σ - стандартное отклонение).

Рис.18. Геофизическая характеристика стратифицированных комплексов в пределах Средне-Ишимбинской площади.

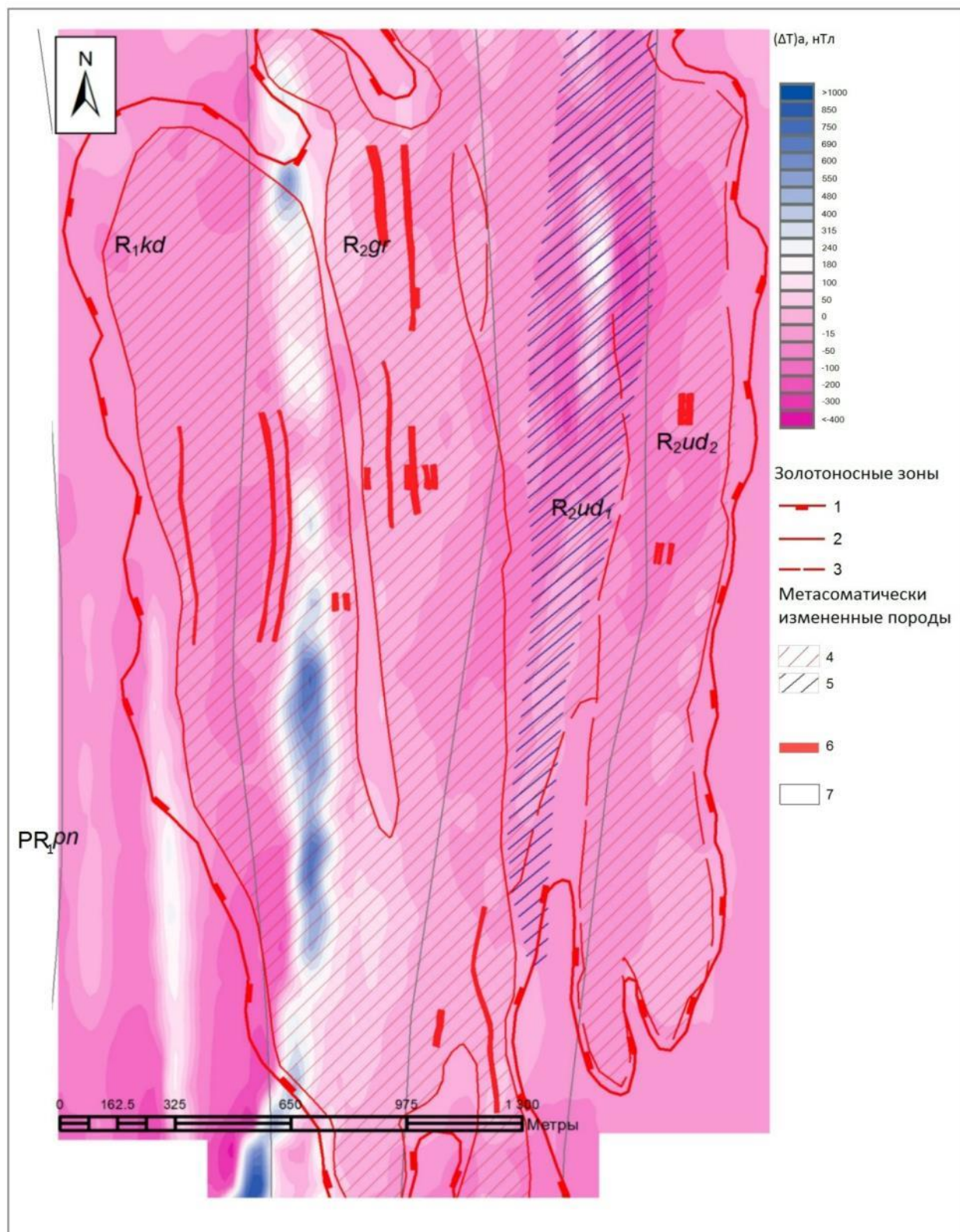


Рис.19. Структура магнитного поля в пределах Марокского рудного поля. Масштаб 1:10000.

1) Золоторудное поле Марокское, оконтуренное по внешней изоконцентрации золота 10 мг/т по вторичным ореолам рассеяния, 2) Золотоносные зоны внутри Марокского рудного поля

(Западная, Центральная, Южная, Восточная), установленные горно-буровыми работами, 3) Золотоносные зоны, прогнозируемые по комплексу геологических, геохимических и геофизических признаков, 4) Метасоматиты, метасоматически измененные породы, 5) Метасоматиты, метасоматически измененные породы, благоприятные для локализации золотого оруденения, 6) Золоторудные тела, 7) Контуры геологических формаций.

Южная золотоносная зона не попадает в пределы представленных карт (рис.19-21). По литературным данным отмечается значениями сопротивления от 1000 до 2000 Ом·м. и аномалиями поляризуемости 2-4% (Фисенко,2016).

По результатам анализа геофизических данных для Марокского рудного поля была построена сводная таблица, в которой собраны признаки, характеризующие золотоносные зоны, метасоматически измененные отложения и золоторудные тела в геофизических полях (таб.1).

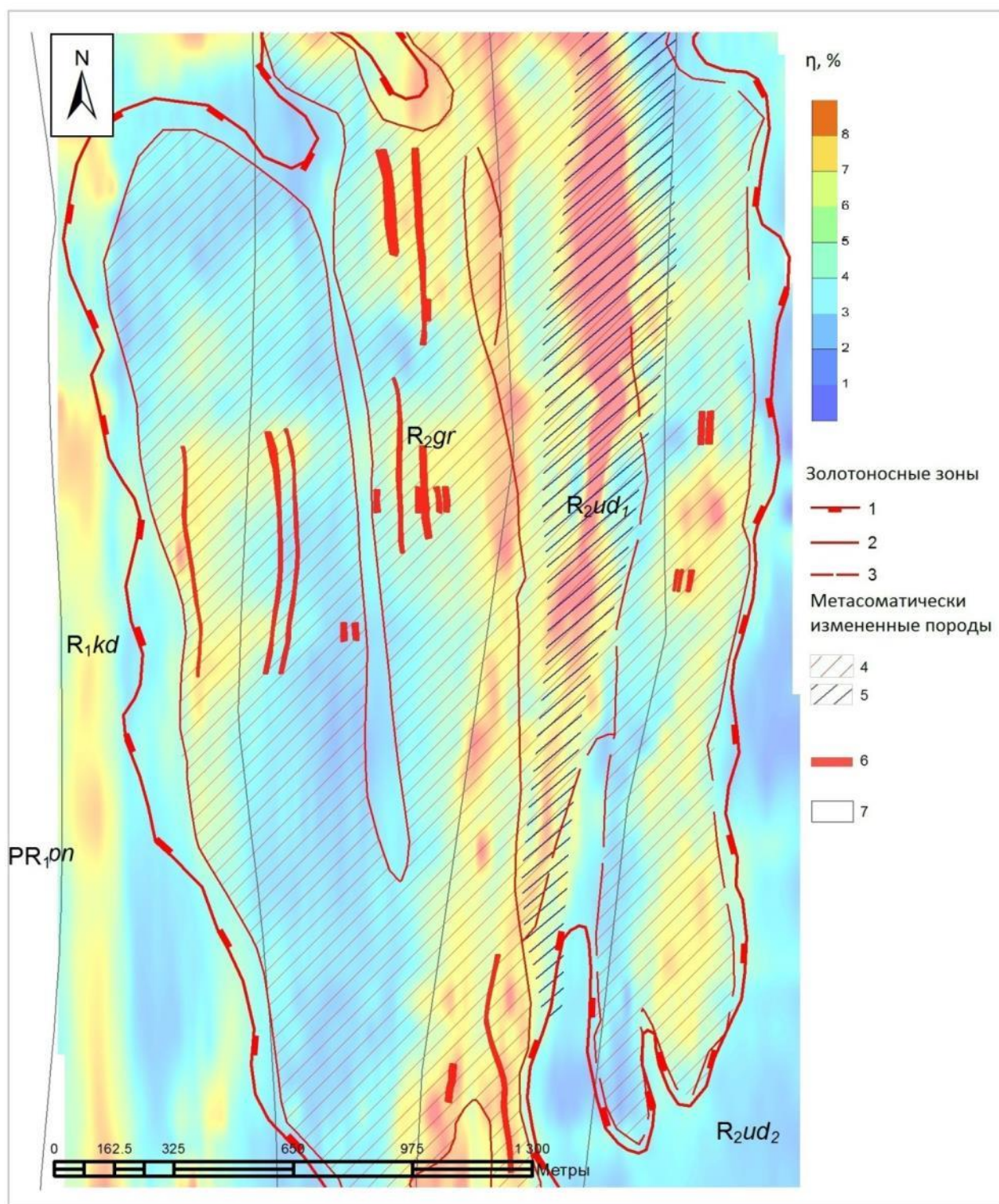


Рис.20. Карта аномалий поляризуемости в пределах Марокского рудного поля.

1) Золоторудное поле Марокское, оконтуренное по внешней изоконцентрате золота 10мг/т по вторичным ореолам рассеяния, 2) Золотоносные зоны внутри Марокского рудного поля (Западная, Центральная, Южная, Восточная), установленные горно-буровыми работами, 3) Золотоносные зоны, прогнозируемые по комплексу геологических, геохимических и геофизических признаков, 4) Метасоматиты, метасоматически измененные породы, 5)

Метасоматиты, метасоматически измененные породы, благоприятные для локализации золотого оруденения, 6) Золоторудные тела, 7) Контуры геологических формаций.

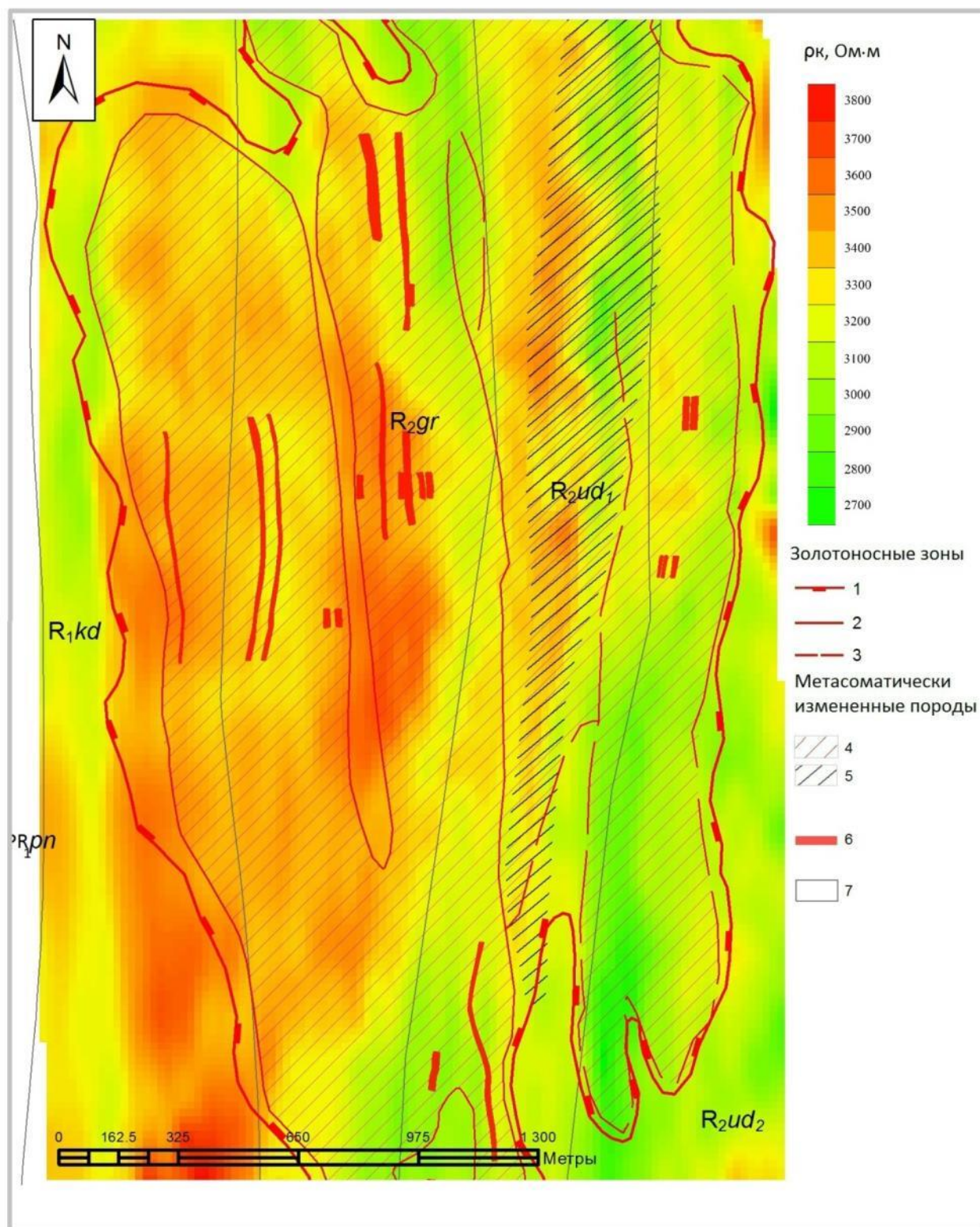


Рис.21. Карта кажущегося сопротивления в пределах Марокского рудного поля.

1) Золоторудное поле Марокское, оконтуренное по внешней изоконцентрате золота 10мг/т по вторичным ореолам рассеяния, 2) Золотоносные зоны внутри Марокского рудного поля

(Западная, Центральная, Южная, Восточная), установленные горно-буровыми работами, 3) Золотоносные зоны, прогнозируемые по комплексу геологических, геохимических и геофизических признаков, 4) Метасоматиты, метасоматически измененные породы, 5) Метасоматиты, метасоматически измененные породы, благоприятные для локализации золотого оруденения, 6) Золоторудные тела, 7) Контурные геологических формаций.

Таблица 1. Признаки выделения золотоносных элементов и метасоматических зон в геофизических полях.

	ΔT	η	ρ
Метасоматически измененные породы	Выделяются отдельные магнитные горизонты в составе кординской, горбилокской и удерейской свит, аномалии принимают значения до 1000 нТл. Аномалии в удерейской свите местами меняют знак на противоположный, либо распадаются, что подтверждает их наложенную пирротиновую природу.	Отмечаются зоны с повышенными значениями поляризуемости (3-6%), характеризующиеся прерывистостью аномалий. Такая закономерность связана с неравномерной сульфидизацией вмещающих пород. Удерейская свита выделяется высокими значениями поляризуемости до 8%, четко прослеживаемыми по всей полосе выхода отложений на поверхность. Данное явление возникает из-за повышенного содержания углеродистого вещества (до 3%).	Характеризуются преимущественно повышенными значениями кажущегося сопротивления, связанного с окварцеванием.
Золотоносные зоны	В целом, территория Марокского поля отмечается пониженной контрастностью магнитных аномалий. Золотоносные зоны характеризуются отрицательными	Наблюдается деление золотоносных зон на участки с повышенными значениями поляризуемости, связанными с метасоматозом и углеродизацией, и с пониженными	Пониженными значениями до 2500 Омм выделяются зоны расланцевания и трещиноватости.

	значениями магнитного поля от -15 до -300 нТл. Магнетитовые горизонты располагаются в краевых частях золотоносных зон.	значениями, связанными с трещиноватыми областями.	
Золоторудные тела	Практически все рудные тела находятся в зонах локальных незначительных понижений значений магнитного поля на фоне общей отрицательной аномалии в пределах рудного поля.	Пространственно совпадают с зонами повышенной поляризации.	Не наблюдается связи в распределении золоторудных тел со значениями кажущегося сопротивления.

3. Построение интерпретационного разреза

Интерпретационный геофизический разрез является важным элементом геолого-геофизической модели. Построение разреза позволяет получить объемное представление о геологическом строении участка работ и позволяет связать наблюдаемые на поверхности геофизические поля с конкретными геологическими телами, а также оценить их геометрические и петрофизические параметры и судить об их минеральном составе.

Как известно, интерпретация геофизических полей может проводиться на качественном уровне, когда делаются заключения о природе геофизических полей, и на количественном уровне, когда с помощью математического моделирования геофизических полей оценивают геометрию тел и физические свойства этих тел.

Интерпретационный разрез в большей степени является результатом именно количественной интерпретации. Надо отметить, что построение количественной геолого-геофизической модели всегда является трудоемкой и интеллектуальной процедурой, требующей априорного знания о геологическом строении участка. Без априорной геологической информации построить достоверный разрез практически невозможно. Это связано с тем, что решение обратной геофизической задачи всегда неоднозначно. Особенно высокая неоднозначность характерна для обратных задач гравиразведки и магниторазведки. Еще одна трудность количественной интерпретации это получение комплексной модели, которая бы описывала несколько геофизических полей одновременно, например, поле силы тяжести и аномальное магнитное поле.

На первом этапе построения интерпретационного разреза часто используют полуколичественные экспресс методы решения обратной задачи, которые не требуют привлечения априорной геологической информации и позволяют построить модель первого приближенного уровня. Особенно полезны такие методы при создании глубинной модели участка. Глубинная геофизическая модель позволяет определить источники регионального фона поля силы тяжести и магнитного поля и соответственно удалить этот фон при моделировании локальных приповерхностных аномалий.

Для построения интерпретационного геолого-геофизического разреза был выбран профиль 3 длиной 13 км, который пересекает Марокское рудное поле в его центральной части. Профиль пересекает основные геологические структуры и построение разреза по нему позволяет полностью охарактеризовать не только строение рудного поля, но и в целом строение Средне-Ишибинской поисковой площади.

На первом этапе необходимо было оценить вклад глубинных составляющих аномальных полей, для чего были построены разрезы эффективной плотности и эффективной намагниченности по данным региональной гравиметрической съемки (масштаб 1:200000) и аэромагнитной съемки масштаба 1:25000. Построение этих разрезов было выполнено с помощью программы ГИС ИНТЕГРО (ВНИИГеосистем). Для этого были построены 3D модели методом частотной фильтрации гравитационного и магнитного полей по алгоритму И.И. Приезжева (Приезжев, 2010). В результате работы алгоритма были получены 3D распределения эффективных (или кажущихся) избыточных плотности и намагниченности.

В качестве исходных данных использовались матрицы поля силы тяжести и напряженности магнитного поля. Нижним пределом моделей была выбрана глубина 2км, шаг по глубине составлял 50м. Результаты расчетов представлены на рис. 22 и рис. 23 в виде карт распределения эффективной плотности и намагниченности.

На карте эффективной плотности (рис.22) четко выделяются три вытянутые зоны пониженных значений плотности. Низкие значения в центре участка обусловлены практически полным совпадением с зоной Ишимбинского регионального разлома. Восточная полоса соответствует выходу относительно легкой аладьинской свиты. Западная зона в своей северной части пространственно совпадает с выходом гранитоидного массива на поверхность. Хорошо выделяется ядро Нижне-Чиримбинского гранитного массива в виде изометричного участка отрицательной избыточной плотности. Гранитизированные породы печенгинской свиты в краевой части массива имеют слабо повышенную плотность, за счет большого количества до конца не ассимилированных древних метагабброидов.

На карте эффективной намагниченности (рис.23) ярко выражена складчатая структура Певунской горст - антиклинали. В контуре Марокского рудного поля прослеживается «разъедание» высоко намагниченного маркирующего горизонта, что в очередной раз указывает на проявление метасоматических процессов на территории.

Разрезы эффективной плотности и намагниченности по профилю №3 представлены на рисунке 24.

Профиль 3 в центральной своей части пересекает Певунскую горст-антиклиналь, западная часть которой осложнена сопряженной синклинальной складкой, сложенной горбилокской и кординской свитами. Именно над крыльями этой синклинальной складки наблюдается усложненная структура магнитного поля. Выполненная ранее расшифровка

структуры магнитного поля позволила выделить два сильно магнитных маркирующих горизонта в составе горбилокской свиты. Это позволяет предполагать, что усложнение структурного рисунка поля связано со смятием этих маркирующих горизонтов с систему высокопорядковых складок.

На разрезе эффективной намагниченности (рис.24(б)) маркирующие горизонты выглядят как локальные положительные аномалии, верхняя кромка которых почти выходит на поверхность. Оси этих аномалий лишь слегка наклонены навстречу друг другу в сторону оси синклинали.

Восточное крыло Певунской антиклинали, также сложенное породами кординской и горбилокской свит, имеет низкую намагниченность. Отмечается лишь единичная слабая положительная аномалия в районе пк. 7900. Как уже говорилось выше, резкое уменьшение намагниченности пород, скорее всего, связано с гидротермально-метасоматическими изменениями пород, в результате которых осадочно-метаморфогенный магнетит в маркирующих горизонтах разрушился. Незначительное увеличение намагниченности наблюдается лишь на глубине, где, вероятно, интенсивность преобразований была не такая высокая.

Избыточная плотность по разрезу (рис.24(в)) изменяется от $-0,2$ до $+0,35$ г/см³. Избытком плотности в районе пикета 6 км отмечается выход на дневную поверхность кристаллических пород фундамента, представленных мраморами и кристаллическим сланцами. Данная аномалия плотности хорошо прослеживается также на соседних профилях 2 и 6. Марокское рудопроявление приходится на участок понижения плотности между 8 и 10 км профиля. Разуплотнение пород связано с зоной рассланцевания в осевой части Ишибинского разлома. Далее к западу выделяет глубинная аномалия повышенной плотности, осложненная двумя «выступами». Глубинная составляющая данной аномалии, вероятно, соответствует плотному блоку нижнепротерозойского фундамента, а «выступы» зонам уплотнения пород удерейской и горбилокской свит за счет наложенной карбонатизации.

В западной части профиля вскрываются породы горбилокской и кординской свит, смятые в синклинальную складку, которые выделяется относительно небольшим понижением плотности.

Данные решения обратной гравиметрической и магнитометрической задач показывают картину распределения параметров без учета геологических данных, выделяя лишь ярко выраженные аномалии регионального уровня.

К разрезам, представленным на рис.24., необходимо относиться с большой долей условности. По сути, они представляют собой трансформации геофизических полей, которые позволяют получить лишь общие представления об относительном положении источников этих аномалий друг относительно друга.

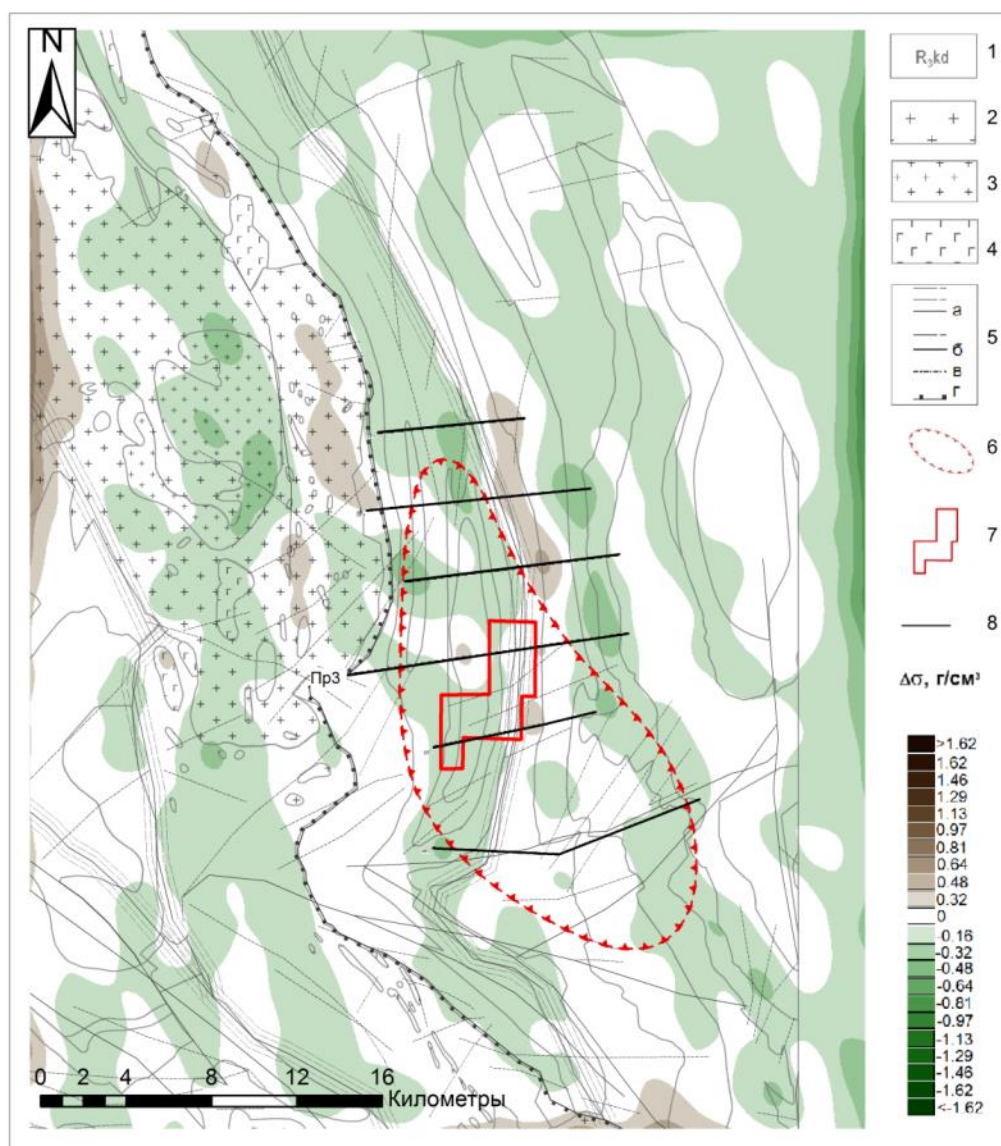


Рис.22. Распределение эффективной плотности. Глубина среза 1,5 км.

1) Контуры геологических формаций; Нижнечиримбинский гранитоидный массив:
2) первая фаза, 3) вторая фаза, 4) Индыглинский ортоамфиболитовый комплекс, 5)

Разрывные нарушения: а. Зона смятия Ишимбинского регионального разлома, б. Разломы I-го порядка, в. Разломы II-го порядка, г. Нижнечиримбинский надвиг б) Контур Нижнечиримбинского рудного узла, 7) Контур Марокского рудного поля, 8) Линии опорных геофизических профилей

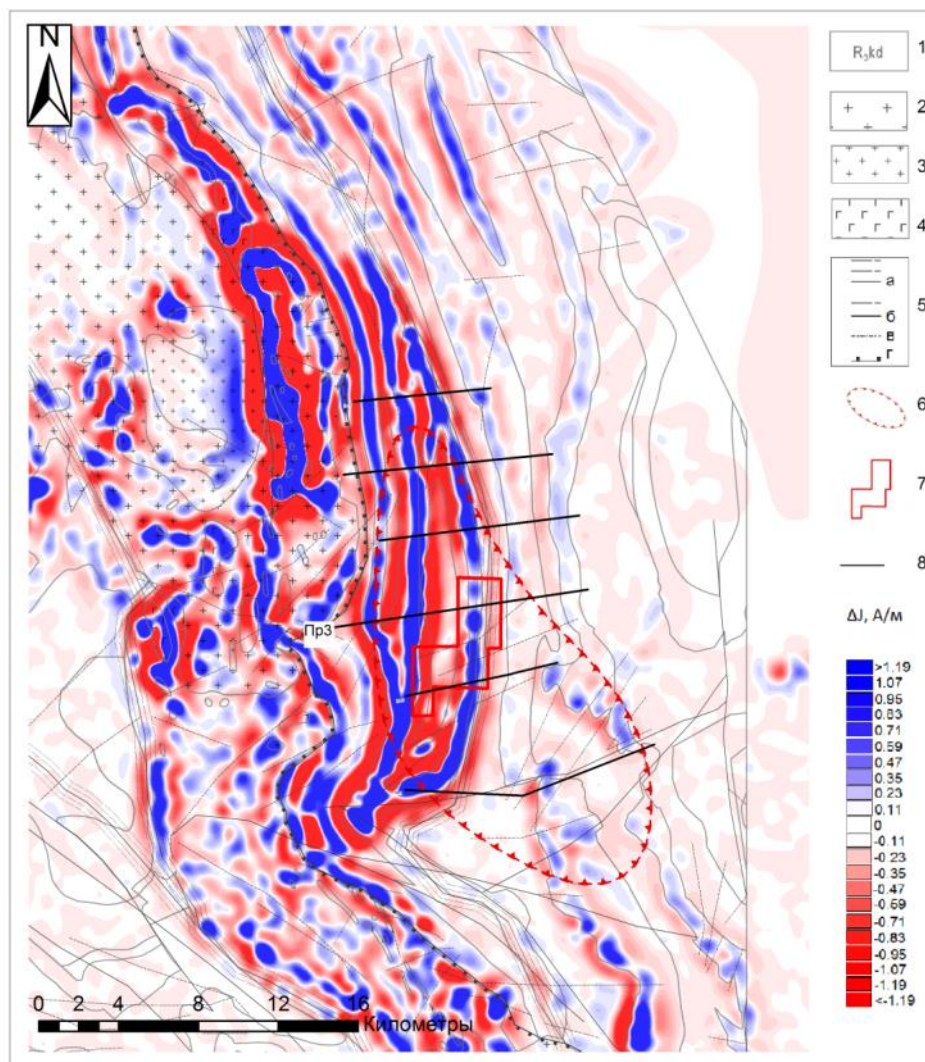


Рис.23. Распределение эффективной намагниченности. Глубина среза 1 км.

См. условные обозначения к рис.22.

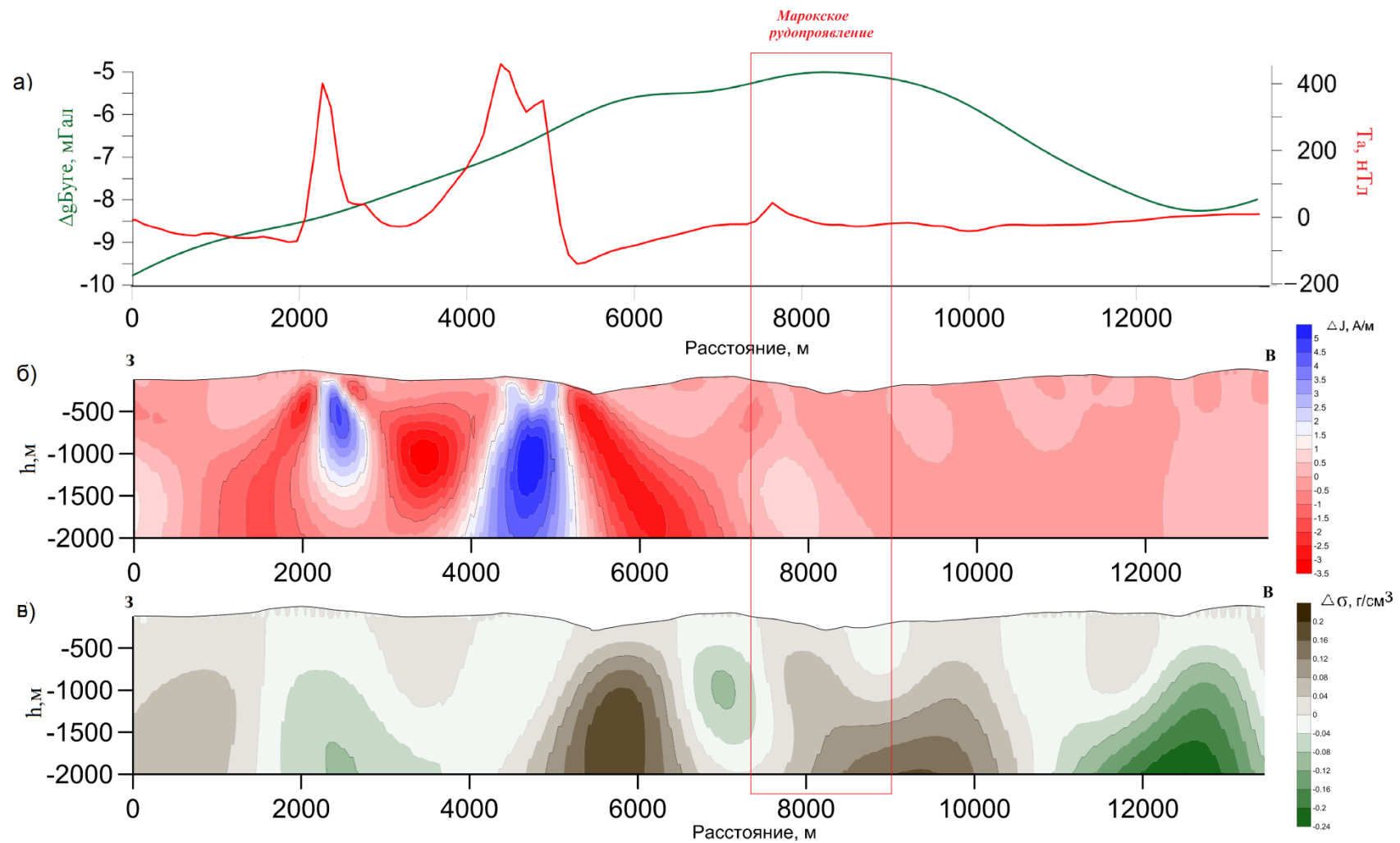


Рис.24. Срезы эффективных плотности и намагниченности по профилю №3.

а) Графики поля силы тяжести в редукции Буге и аномального магнитного поля, б) эффективная намагниченность, в) эффективная плотность.

Для анализа локальных неоднородностей геологической среды использовались данные наземных геофизических съемок вдоль опорных профилей, пересекающих Марокское рудное поле. Для этого анализа был использован другой способ формализованного решения обратной задачи, основанный на методе подбора с регуляризацией по А.Н. Тихонову, программы GRAV3D, MAG3D (Oldenburg et.al., 1998). Разрезы петрофизических параметров строились в 2D приближении (считаем, что простирание пород бесконечно по оси Y). Метод регуляризации уже позволяет учитывать априорную информацию о строении геологической среды и о вероятных значениях петрофизических свойств пород. В результате можно получить более адекватные петрофизические модели с более достоверной оценкой параметров аномалеобразующих геологических тел.

Плотностной разрез строился с помощью программы GRAV3D. При подборе плотности в 2D варианте использовалась только локальная составляющая поля, полученная вычитанием из наблюдаемого поля результатов пересчета поля на высоту 1 км. Высота пересчета была определена, исходя из анализа результатов предыдущего этапа. При этом, моделирование выполнялось с учетом рельефа.

Первым шагом среда была разбита на однородные по свойствам блоки, размер которых сопоставим с шагом наблюдений, и составляет 50 м. Для решения задачи методом подбора определялась избыточная плотность с пределами изменения в интервале от -0.2 до +0.25 г/см³. Отмечу, что задание интервала плотности является одной из форм учета априорной информации. Затем избыточная плотность пересчитывалась в нормальную плотность, исходя из принятой плотности промежуточного слоя и средней плотности пород сухопитской серии (2.67 г/см³). Результаты решения обратной задачи представлены на рис.25.

На этом рисунке хорошо видно, что ядро Певунской антиклинали имеет повышенную плотность (>2.68). В пределах Марокского рудного поля выделяется близповерхностная плотностная аномалия (до 2.74 г/см³), соответствующая зоне Fe-Mg карбонатизации (анкеритизация) и сульфидизации пород. Восточная плотностная аномалия соответствует породам верхнеудерейской свиты, которые имеют повышенную плотность из-за существенно сланцевого состава (хлоритовые сланцы имеют повышенную плотность). Аномалия низкой плотности вблизи восточного края профиля связана выходами пачки кварцитов и рыжих известковистых сланцев с повышенной пористостью в составе альдинской свиты.

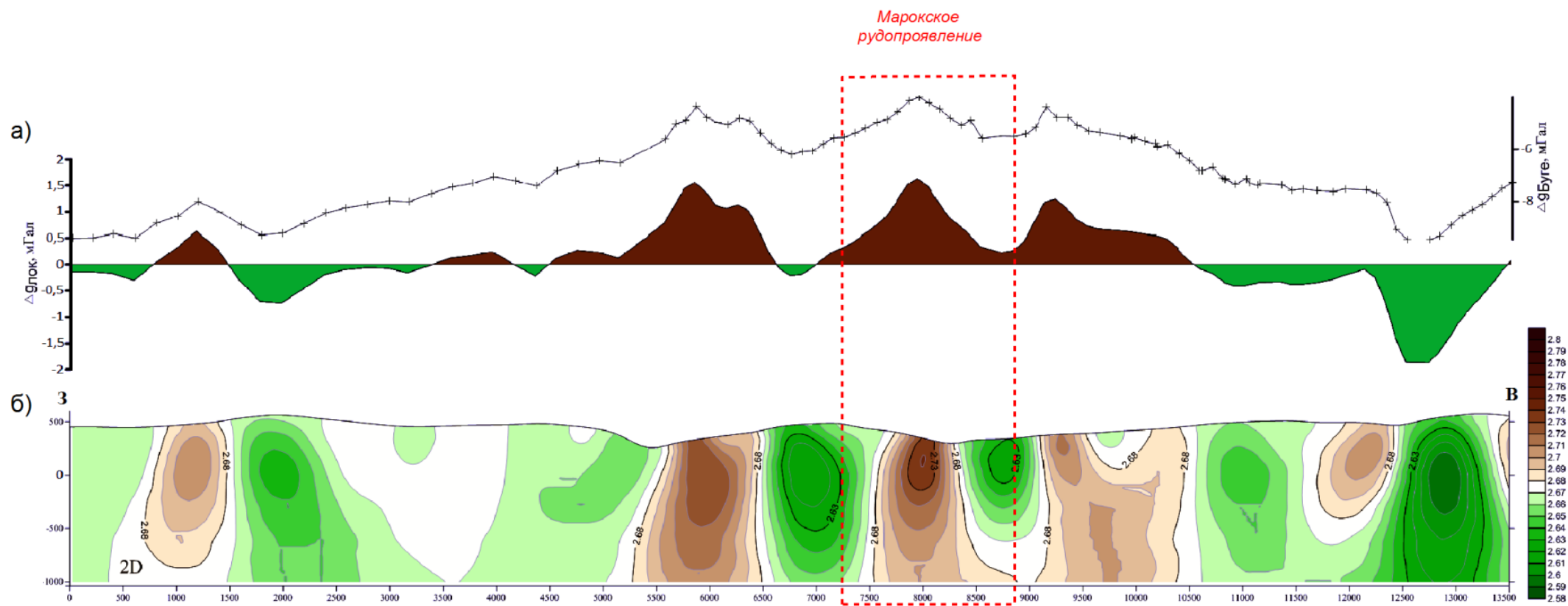


Рис.25.Результат решения обратной задачи гравirazведки по профилю 3.

а) Поле силы тяжести в редукции Буге ($2,67 \text{ г/см}^3$) и локальная составляющая поля силы тяжести (уровень пересчета 1 км) по данным профильной съемки, б) Разрез эффективной плотности по данным 2D моделирования.

Построение разреза магнитной восприимчивости выполнялось в программе MAG3D по тому же принципу, что и при построении разреза плотности. Для ослабления влияния приповерхностных магнитных объектов в качестве входных данных при решении обратной задачи магниторазведки использовался результат пересчета наблюдаемого на земле магнитного поля в вверх на 20-40 м. При подборе предполагалось, что магнитная восприимчивость пород всегда положительная величина и породы намагничены по направлению современного магнитного поля. При этом, так как магнитная восприимчивость почти всегда подчиняется логнормальному статистическому распределению, то для ячеек разреза подбирались значения логарифма магнитной восприимчивости. Результаты решения обратной задачи представлены на рис. 26.

Если сравнить разрез намагниченности (рис.24(б)) и разрез магнитной восприимчивости (χ) рис.26(б), сразу видно, разрез магнитной восприимчивости более адекватно отражает геологическое строение, и не только из-за более детального шага геофизических наблюдений. Во-первых, на разрезе χ , хорошо выделяется немагнитное ядро Певунской антиклинали. При этом видно, что ядро имеет явную асимметрию. Западный контакт с породами сухопитской серии более крутой (вероятно, вертикальный и, соответственно, тектонический), а восточный относительно пологий. Во-вторых, область повышенной χ к западу образует структуру подобную синклинальной складке. Сильно магнитные блоки выходят на поверхность и соответствуют выходам магнетитсодержащих горизонтов. В пределах Марокского рудного поля магнитная восприимчивость магнитных горизонтов горбилокской свиты почти на порядок ниже по сравнению с этими же горизонтами в западном крыле антиклинали из-за метасоматического изменения пород. Кроме того, в составе удерейской свиты выделяются пирротинсодержащий горизонт с отрицательной намагниченностью.

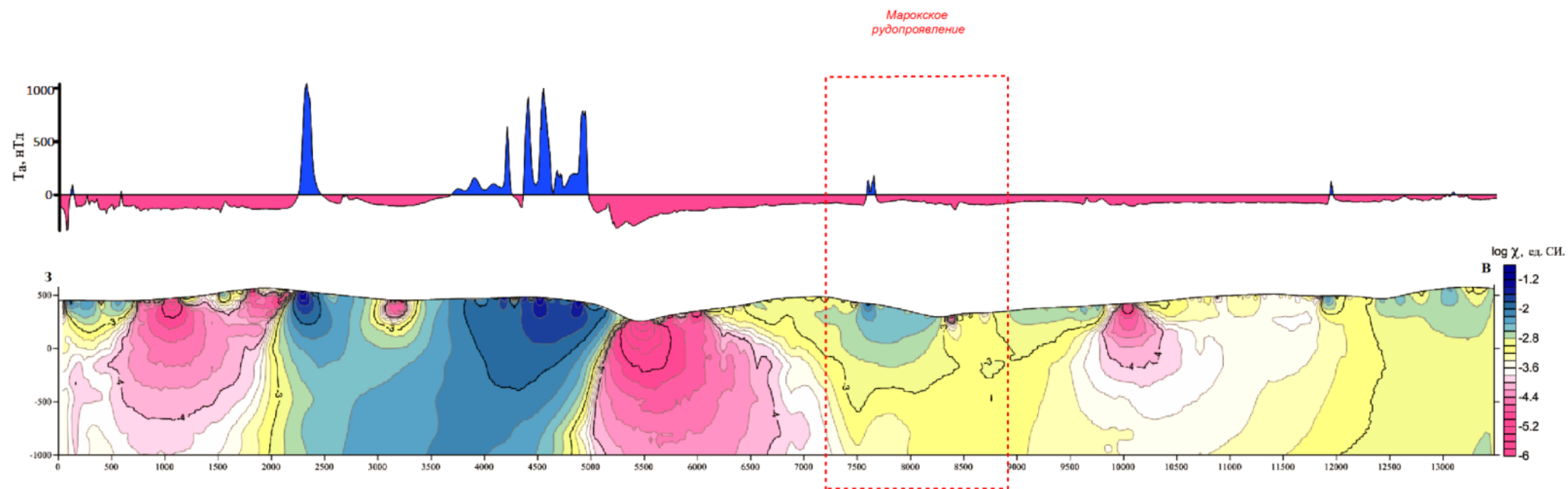


Рис.26. Результат решения обратной задачи магниторазведки по профилю 3.

а) Аномальное магнитное поле (наземные наблюдения шаг 5 м), б) Разрез эффективной магнитной восприимчивости (логарифм) по данным 2D моделирования.

Построение разрезов удельного сопротивления и поляризуемости выполнялось с помощью решения обратной задачи в программе ZondRes2D v.5 (Zond Software, 2001).

Для построения геоэлектрических разрезов использовались данные профильной съемки ВП с установкой срединного градиента (СГ-ВП) и данные электротомографии в интервале пикетов 7300- 9500 м. Соответственно только в этом интервале геоэлектрические разрезы можно считать достоверными. Там, где проводилась съемка СГ-ВП, разрезы являются слабо достоверными. Однако все же эти разрезы позволяют судить о распределении электрических свойств на качественном уровне. Распределение УЭС и поляризуемости в разрезе представлено на рисунке ниже (рис.27).

Интенсивные аномалии поляризуемости ($>10\%$) в сочетании с низкими значениями удельного сопротивления в пределах Марокского рудного поля можно проинтерпретировать как зоны интенсивного смятия и рассланцевания и графитизации в осевой части Ишимбинского разлома. Локальные аномалии поляризуемости от 2 до 4% , в сочетании повышенным сопротивлением, в пределах выходов кординской и горбилокской свит в восточном крыле Певунской антиклинали, соответствуют участкам наложенной метасоматической сульфидизации, окварцевания и карбонатизации. Это также подтверждается результатами площадной электроразведки ВП, выполненной ранее в 2012 году (см. рис.20,21).

Мощные поляризующиеся горизонты пониженного сопротивления выделяются и в составе удерейской и потоскуской свит. Эти горизонты представляют собой переслаивание сланцев и алевролитов с тонкорассеянным углеродистым веществом и сингенетическим пиритом.

Наиболее интенсивные аномалии поляризуемости и низкого сопротивления выявлены в западной части профиля. Эти аномалии отмечают зону Нижнечиримбинского надвига, который является тектонической границей между нижнепротерозойскими породами пенченгинской свиты и блоком пород сухопитской серии. Высокая поляризуемость и низкое сопротивление обусловлены графитизацией тектонической зоны.

На основе описанных выше разрезов и, исходя из общих геологических представлений о строении участка работ, была построена согласованная петрофизическая модель (рис.28). Для построения модели были взяты данные профильной гравиразведки и магниторазведки.

Петрофизический разрез строился в программе MagGrav Polygon (автор Тарасов А.В, 2013). Моделирование основано на интерактивном подборе геометрии, плотности и намагниченности полигональных объектов, таким образом, чтобы модельные и наблюдаемые геофизические поля имели минимальное расхождение. Надо отметить, что область моделирования была значительно шире интервала профильной съемки. Это связано с необходимостью моделирования региональной составляющей поля силы тяжести, которая полностью выбирается гравитационным влиянием легкого гранитного массива на западе и антиклинальным выступом относительно тяжелого фундамента в центральной части.

Метаморфизованные породы фундамента обладают наибольшей плотностью среди имеющихся на участке пород. Значения плотности меняются от 2,74 до 2,82 г/см³. Средняя плотность гранитов была принята 2.63 г/см³, тогда как средняя плотность среды 2.74.

Породы сухопитской серии характеризуются широким разбросом значений плотности, от 2,61 г/см³ до 2,74г/см³, в зависимости от литологического состава и включений.

В целом магнитная восприимчивость (χ) пород фундамента повышенная ($10 \cdot 10^{-3}$ ед. Си) по сравнению с вышележащими толщами. Исключение составляет ядро Певунской антиклинали, сложенное слабо магнитными ($0.1 \cdot 10^{-3}$ ед. Си) мраморами и кристаллосланцами.

Для моделирования высокоинтенсивных положительных аномалий магнитного поля в пределах горбилокской свиты были заданы маломощные магнитные горизонты с χ от $10 \cdot 10^{-3}$ до $50 \cdot 10^{-3}$ ед. Си. Как видно из модельного разреза, сложная магнитная аномалия в восточном крыле антиклинали может действительно быть объяснена усложнением складчатой структуры вблизи ядра складки. А локальная положительная гравитационная аномалия в пределах рудного поля может быть объяснена уплотнением (до 2.82 г/см³) пород.

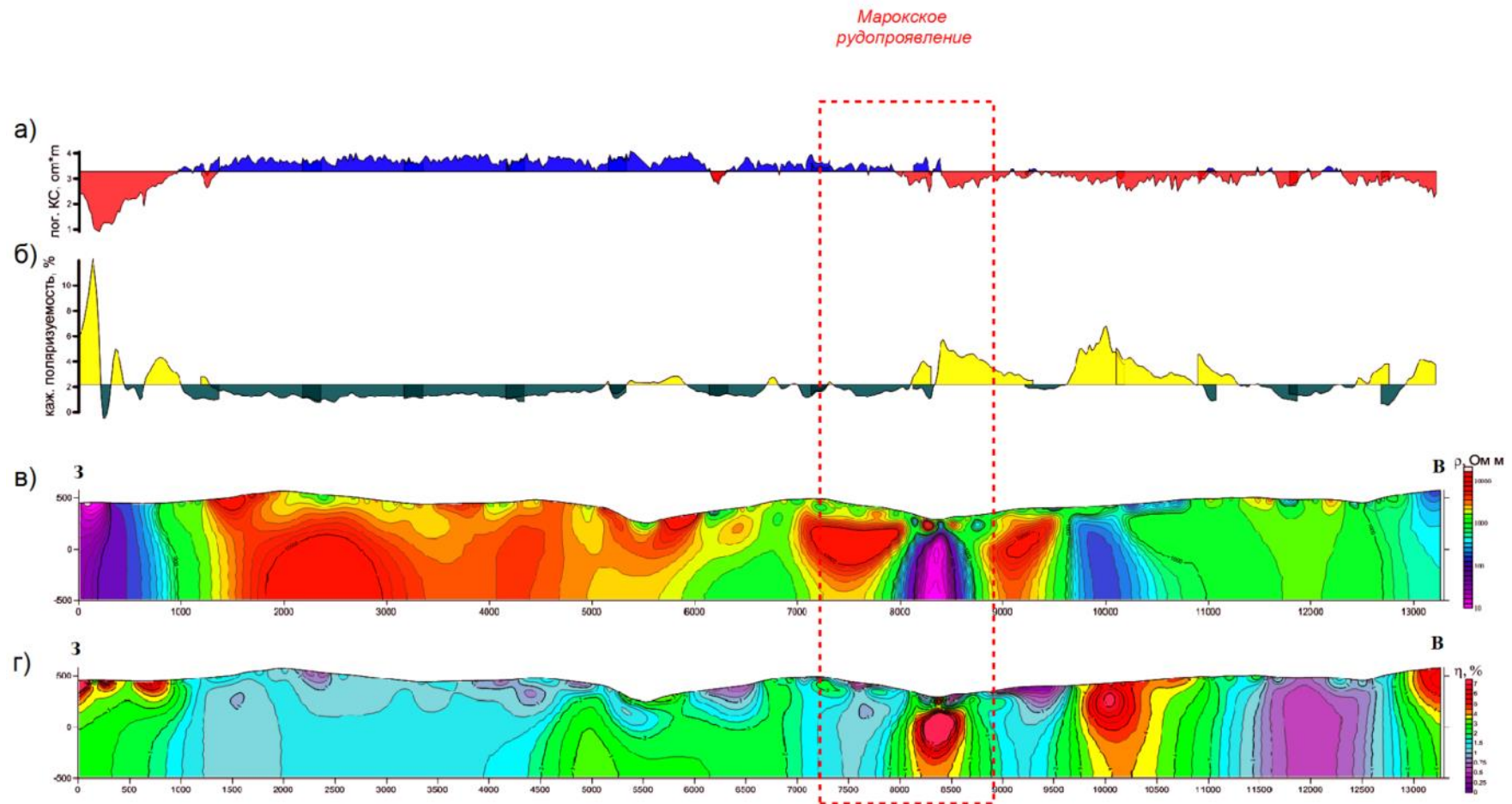


Рис.27. Результат решения обратной задачи электроразведки ВП-СГ и ЭТ-ВП.

а) Кажущееся удельное электрическое сопротивление (ВП-СГ), б) Кажущаяся поляризуемость (ВП-СГ), в) Распределение УЭС в разрезе, г) Распределение поляризуемости в разрезе.

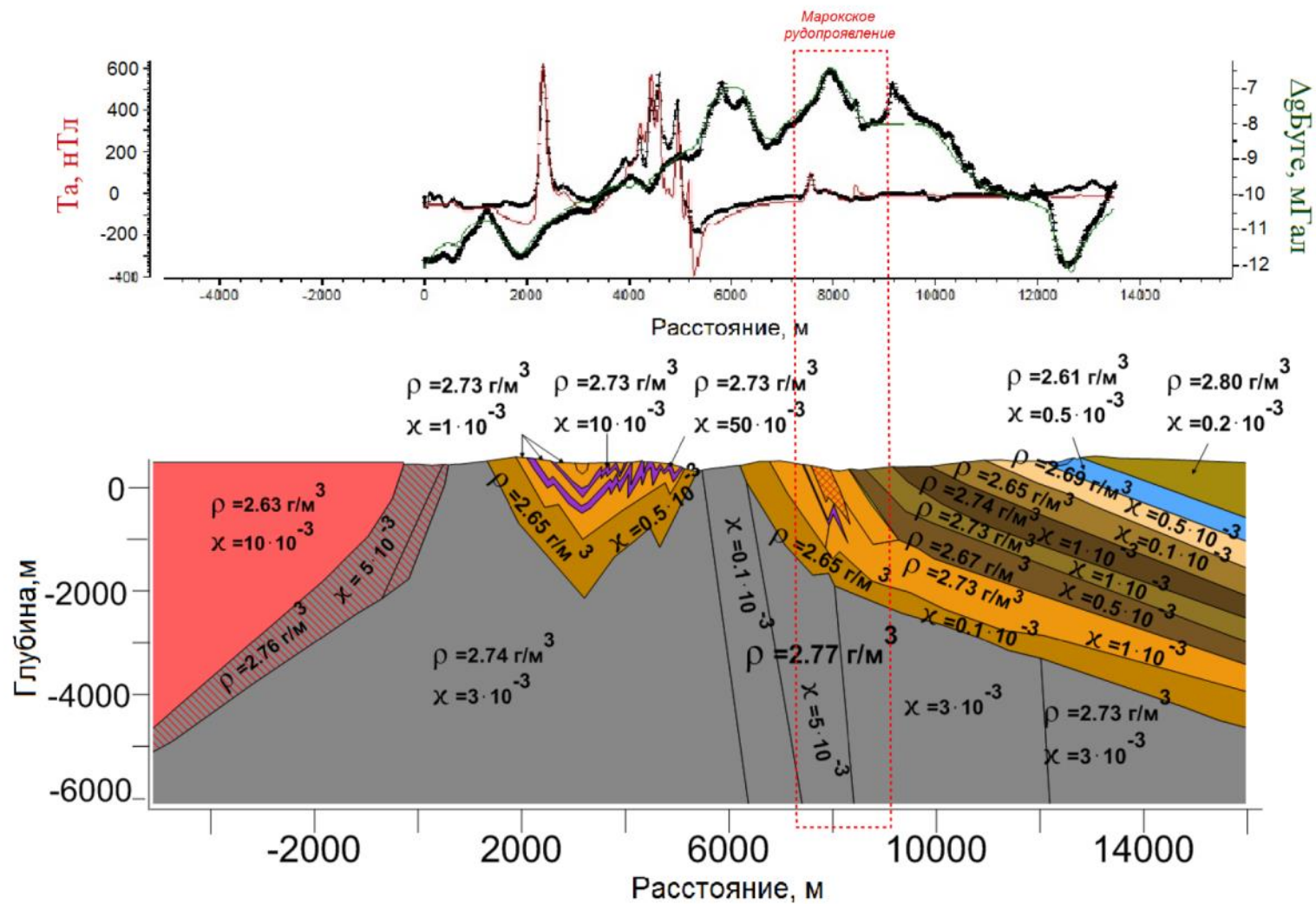


Рис.28. Петрофизический разрез по профилю 3. Результаты физико-геологического моделирования.

После построения геофизических разрезов для всех профилей и петрофизического разреза для профиля 3 был построен сводный интерпретационный геолого-геофизический разрез. За основу были взяты геологические карты 1:25 000 и 1: 50 000 масштабов, с которых на линии опорных геофизических профилей были снесены геологические границы, основные тектонические нарушения, оси складок (рис.29).

На разрезе выделены участки с наложенными гидротермально-метасоматическими процессами. К зонам Ишимбинского разлома и Нижнечиримбинского надвига тяготеют проявления Fe-Mg карбонатизации, отмечающиеся повышенной плотностью.

По геофизическим признакам были также выделены зоны интенсивного дробления, смятия и рассланцевания, расположенные, преимущественно, в близости с разрывными нарушениями.

С петрофизической модели на интерпретационный разрез перенесены маркирующие магнитные горизонты, повторяющие складчатую структуру территории. Два магнитных горизонта в составе горбилонской свиты выделяются в западной части разреза по ярко выраженной аномалии магнитного поля (рис.28). Аномалия, имеющая форму многочисленных пиков, указывает на интенсивное смятие магнетитсодержащих пород.

При этом, в восточной части разреза наблюдается лишь один из представленных горизонтов. Исчезновение второго магнитного горизонта в горбилонской свите объясняется как результат распада магнетита под действием гидротермально-метасоматических изменений. Также возможен механизм распада структуры магнитного поля из-за разрывной тектоники и интенсивной деформации пород. Участок с выпадением магнитного горизонта непосредственно располагается в пределах Марокского рудного поля и характеризуется аномалиями золота.

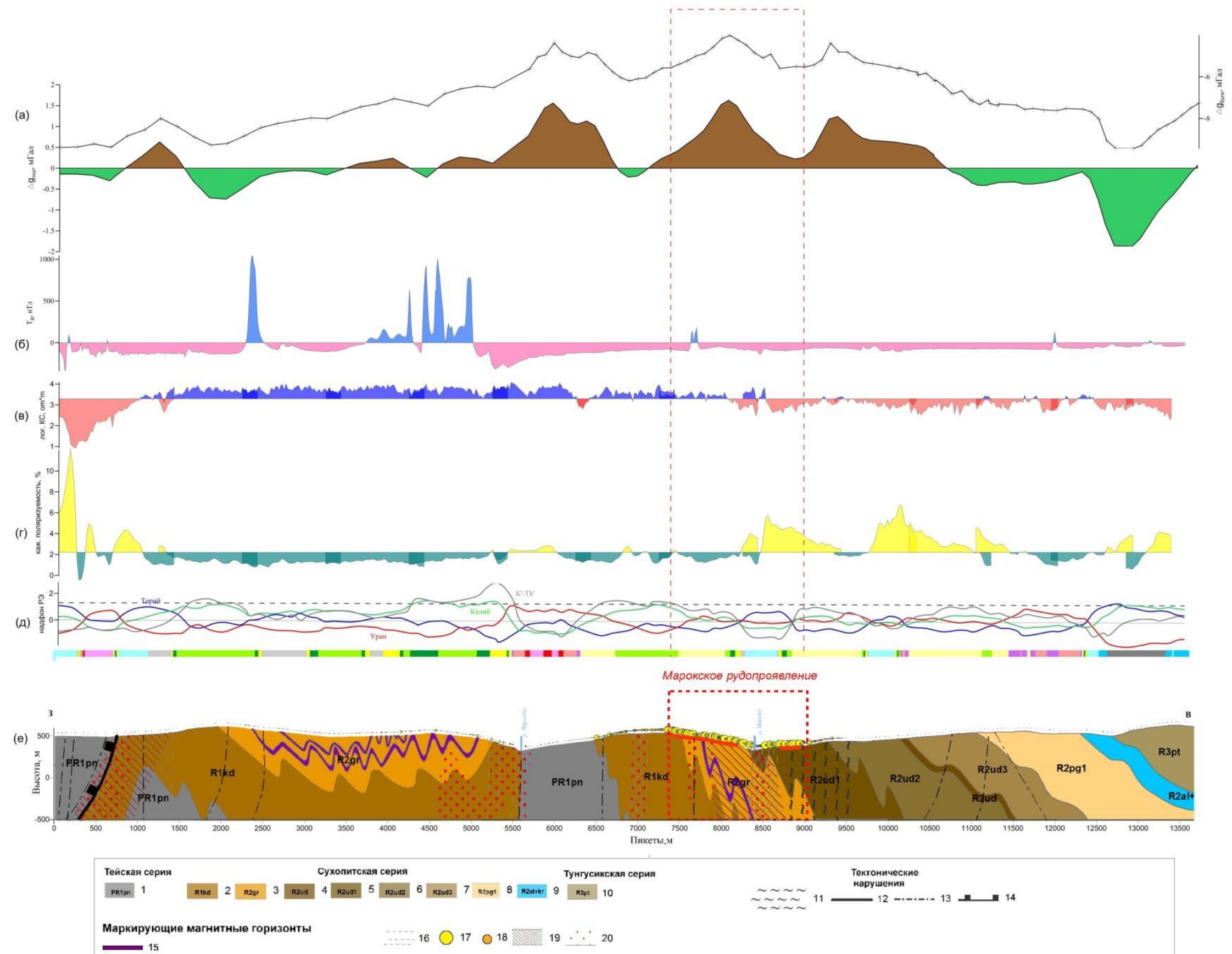


Рис.29. Интерпретационный геолого-геофизический разрез Марокского рудного поля по профилю 3.

а) Поле силы тяжести в редукции Буге ($2,67 \text{ г/см}^3$) и локальная составляющая поля силы тяжести (уровень пересчета 1 км) по данным профильной съемки, б) Аномальное магнитное поле (наземные наблюдения шаг 5 м), в) Кажущееся удельное электрическое сопротивление (ВП-СГ), г) Кажущаяся поляризуемость (ВП-СГ), д) Надфоновые содержания РЭ (в единицах стандартного отклонения) и радиогеохимическая специализация, е) Интерпретационный геолого-геофизический разрез Марокского рудного поля по профилю 3:

1) Пенченгинская свита. Кристаллические сланцы с амфиболом, кальцитом, гранатом, дистеном, графитом; прослои кварцитов, слюдистых кварцитов, графитистых и слюдистых мраморов, амфиболитов (1600-2100м), 2) Кординская свита, не расчленённая. Сланцы, филлиты хлорит-серицит, кварцевые, углеродсодержащие, прослои и линзы известняков, кварцитовидных метапесчаников, метагравелитов (1400-1800м), 3) Горбилокская свита. Сланцы серицит-хлоритовые, хлорит-серицитовые, альбит-эпидот-хлоритовые (метатUFFы базальтов) с магнетитом серо-зеленые, зелено-серые часто тонко-полосчатые. Редко тонкие прослои метапесчаников, (600?-900 м), 4) Удере́йская свита не расчленённая. Тёмно-серые, чёрные, реже зелёные сланцы и филлиты кварц-серицит-хлоритовые, углеродсодержащие, часто с сульфидами (1500-2250м), 5) Удере́йская свита, нижняя подсвита. Тёмно-серые, чёрные сланцы кварц-серицит-хлоритовые, кварц-серицитовые углеродсодержащие (500-700м), 6) Удере́йская свита, средняя подсвита. Тёмно-серые, зелёно-серые сланцы и филлиты, прослои известковистых сланцев и песчанистых известняков, известковые конкреции (600-950м) 7) Удере́йская свита, верхняя подсвита. Тёмно-серые тонкополосчатые филлиты, известковистые тиллиты (400-650м), 8) Погорю́йская свита. Ритмичное переслаивание сланцев хлорит-серицитовых, метаалевролитов, метапесчаников; кварциты желтые, светло-серые (до 1500 м), 9) Аладьинская свита и свита карточки объединённые. Метадоломиты зеленоцветные, метаизвестняки сероцветные и пестрые, сланцы серицитовые известковистые, (до 700 м), 10) Потоску́йская свита не расчленённая. Глинистые, алевроглинистые сланцы, метаалевролиты, метапесчаники с пачками известняков, доломитов, кварцитовидных песчаников (900-1000м), **Тектонические нарушения:** 11) Первого порядка, 12) Второго порядка, 13) Третьего порядка, 14) Нижнечиримбинский надвиг. **Маркирующие магнитные горизонты:** 15) В составе горбилокской свиты, 16) Зоны рассланцевания, 17) Содержание золота по данным Красноярскгеолсъемка, 18) Содержание золота по данным ФГУП ЦНИГРИ, 19) Зоны буропатизации, 20) Зоны сульфидизации.

4. Геолого-геофизическая модель

Составление геолого-геофизической модели Марокского рудного поля заключалось в обобщении и анализе геологических, геофизических и геохимических данных и последующем сведении полученных материалов в единую таблицу (таб.2).

Несмотря на то, что на территории рудного поля отсутствуют интрузивные образования, в модель были включены гранитоидный Татаро-Аяхтинский и метагabbродолеритовый Индыглинский комплексы, располагающиеся на западе от изучаемой территории на расстоянии около 17 км.

Так как вмещающие породы подверглись воздействию гидротермально-метасоматических процессов, таких как серицитизация, окварцевание и сульфидизация, в таблицу также включены геофизические признаки выделения метасоматитов. Одним из наиболее ярких признаков является нарушение, «разъедание» структурного рисунка магнитного поля.

Выделенные признаки были использованы для составления схемы прогнозирования (рис.30). Границы геологических формаций, разрывные нарушения и маркирующие магнитные горизонты были выделены ранее по совокупности геологических, геофизических и геохимических данных и снесены на итоговую схему с рис.17. Далее на схему были нанесены локальные аномалии геофизических полей, характеризующие золотоносные отложения в стратифицированных толщах.

Так как в Енисейской золотоносной провинции месторождения золота в основном локализованы в трех свитах-кординской (R_{1kd}), горбилоской (R_{2gb}) и удерейской (R_{2ud}), эти свиты были выделены отдельным контуром как литолого-стратиграфический признак оруденения.

На схему вынесены зоны, где главной компонентой является калий. Зоны повышенной калиевой составляющей связаны с составом горбилоской и кординской свит, в отложениях которых значительную роль играют хлорит-серицитовые сланцы. Высокие значения надфоновое калия, скорее всего, обусловлены наложенной серицитизацией пород.

По контурам повышенной поляризуемости и низкого кажущегося сопротивления в соответствии с геологическими данными выделены зоны, характеризующие области сульфидизации и графитизации.

На основании вынесенных на схему наиболее контрастных геофизических признаков были выделены предполагаемые перспективные минерализованные зоны. Всего было выделено 2 минерализованные зоны к северу и к югу от установленных по ранее проведенным работам золотоносных зон. Несмотря на то, что на данных участках рудного

поля отсутствуют россыпи, можно порекомендовать их к проведению заверочных поисковых работ.

Таблица 2. Геолого-геофизическая модель Марокского рудного поля.

Элементы модели	Отражение в геофизических полях (геофизические признаки)			
	Радиогеохимические Поля (K, U,Th)	Магнитное поле	Поле силы тяжести	Электрические поля
Литолого-фациальные Углеродисто-терригенный комплекс, представленный кординской(R ₁ kd), горбилокской(R ₂ gr), удерейской (R ₂ ud) свитами. Породы метаморфизованные В зеленосланцевой фации.	Кординская и горбилокская свиты характеризуются низкой радиоактивностью (около 4 мкР/ч) и К-специализацией. Удерейская свита отмечена повышением уровня радиоактивности из-за преимущественно сланцевого состава и Th- специализацией.	Спокойное поле пониженной интенсивности с отдельными маркирующими магнитными горизонтами. Магнетит-содержащие горизонты в составе кординской и горбилокской свит с интенсивностью до 1000 нТл, пирротин-содержащие горизонты в составе удерейской свиты интенсивностью до 250 нТл.	Локальные положительные аномалии обусловленные составом и бурошпатизацией интенсивностью до 1 мГал.	Аномалии поляризуемости до 5% и пониженное сопротивление за счет присутствия графита.
Магматические Татарско-аяхтинский гранитоидный комплекс (γ - γ с R ₃ ta), Индыглинский метагэббродолеритовый комплекс (ν - β R1i)	Выходы гранитоидного массива отмечаются повышенной радиоактивностью. Первая фаза характеризуется U-специализацией, вторая фаза-U-Th специализацией.	Спокойное недифференцированное поле пониженной намагниченности над выходами гранитоидов. Положительные аномалии над выходами индыглинского комплекса.	Гравитационная аномалия над выходом гранитоидного комплекса интенсивностью до -13 мГал	Нет данных.
Разрывные нарушения Разломы, ограничивающие или контролирующие позицию рудного поля	Секущие северо-западные границы радиохимических зон	Проявлены смещением осей магнитных аномалий в тилт-трансформации поля.	Понижение плотности пород в зонах влияния Ишимбинского разлома и Нижнечиримбинского надвига.	Нет данных.
Тектонические дислокации Пликативные структуры 1- 2 порядка, ограничивающие или контролирующие позицию рудного поля.	Распределение радиогеохимических компонент изгибается по форме геологических формаций в плане.	Выражаются в виде сближений и изгибов осей магнитных аномалий.	Нет данных.	Нет данных.
Метасоматиты	Повышение К-составляющей в серицитизованных породах.	Разрушение структуры магнитного поля за счет образования пирита. Уменьшение контрастности за счет окварцевания.	Повышение плотности пород за счет объемной Fe-Mg карбонатизации и образования сульфидов.	Положительные аномалии поляризации, вызванные присутствием графита и сульфидов. Отмечаются высоким кажущимся сопротивлением.

толици сухопитской серии, , 5) Разрывные нарушения: а. Зона смятия Ишимбинского
 регионального разлома, б. Разломы I-го порядка, в. Разломы II-го порядка,
 г. Нижнечиримбинский надвиг, 6): а) Области с умеренным содержанием К, б) Области с
 высоким содержанием К; 7) Области высокой поляризуемости и низкого кажущегося
 сопротивления, связанные с повышенным содержанием углеродистого материала, 8)
 Области высокой поляризуемости и низкого кажущегося сопротивления, связанные с
 содержанием сульфидов в отложениях, 9) Области разрушения структуры магнитного
 поля, 10) Маркирующие магнитные горизонты пирротиновой природы, 11) Маркирующие
 магнитные горизонты магнетитовой природы, 12) Золотоносные зоны, установленные
 горно-буровыми работами, 13) Золотоносные зоны, прогнозируемые по комплексу
 геофизических параметров; Коренная золотоносность: 14) Месторождения, 15)
 Рудопроявления, 16) Пункты минерализации; Россыпи: 17) Промышленные, 18) Разведуемые,
 19) Неразведанные и непромышленные, 20) Линии опорно-геофизических профилей, 21)
 Контур Нижнечиримбинского рудного узла, 22) Уточненный контур Марокского рудного
 поля.

Заключение

В данной работе Марокское рудное поле выступало в качестве эталонного объекта большеобъемного золоторудного месторождения. Для рудного поля была разработана прогнозная геолого-геофизическая модель, представляющая собой схему интерпретации и интерпретационный разрез, на которые вынесены выделенные геолого-геофизические признаки минерализованных зон. Схема и разрез дополняются таблицей, содержащей описание геолого-геофизических признаков. На основе выделенных геофизических признаков были уточнены и расширены границы Марокского рудного поля, включая выделенные в ходе работы предполагаемые золотоносные зоны.

Основная информация о геологическом строении и золотоносности северо-восточной части Енисейского кряжа, к которой относится изучаемый регион, была почерпнута из многочисленных источников литературы. Непосредственно Марокское рудное поле рассматривалось ранее другими авторами, однако, лишь с упором на геохимические признаки выделения. В представленной работе главными задачами были обобщение признаков и критериев выделения рудного поля с золотоносностью и уточнение его границ на основе именно геофизических данных.

Золотоносные зоны Марокского рудного поля связаны с Ишимбинским глубинным разломом, выступающим в роли основного рудоконтролирующего фактора. В зоне влияния разлома вмещающие отложения были подвергнуты изменениям, связанным с проникновением глубинных гидротермальных растворов. Породы на территории поля нарушены многочисленными опережающими разломами, в разной степени графитизированными, серицитизированными, сульфидизированными. Вместе с интенсивным смятием и деформацией пород все эти факторы обеспечивают благоприятные условия для формирования большеобъемного месторождения золото-кварц-сульфидной формации.

В гравиметрических полях рудные зоны выделяются положительными аномалиями из-за присутствия железисто-магнезиальной карбонатизации в углеродисто-терригенных толщах, которая ранее не выделялась в качестве индикатора гидротермально-метасаматического преобразования пород. Ввиду высокой плотности магнезиально-железистых карбонатов, карбонатизация приводит к увеличению избыточной плотности в положительном направлении до 1 г/см^3 . Сульфиды в меньшую степень влияют на повышение на плотности ввиду их незначительного объемного содержания.

К положительной локальной гравитационной аномалии над рудным полем пространственно приурочен участок резкого уменьшения намагниченности пород.

Характерным признаком является разрушение структуры магнитного поля в результате преобразования магнетита и пирротина в пирит.

Магниторазведка проявила себя как наиболее эффективный метод для выделения границ тектонических зон.

Углеродистые толщи закономерно выделяются по повышению ториевой составляющей во вторичных геохимических аномалиях. Из-за процессов серицитизации в районе зоны разломов повышается содержание калия, что достаточно четко выделяется калиевыми ореолами на карте распределения радиогеохимических компонент.

В электрических полях Марокское поле выделяется по понижению удельного сопротивления и аномалиям поляризуемости, что связано с графитизацией пород и в меньшей степени с сульфидизацией. В поле ВП наиболее ярко проявляются углеродистые сланцы удерейской свиты. Таким образом, с помощью электроразведки уточнялось положение удерейской свиты.

Представленные признаки, характеризующие золоторудное поле, не являются единственно верными и подходящими для всех подобных по строению участков, так как в зависимости от конкретной геологической ситуации некоторые из них могут исчезать. Эти параметры составляют совокупность благоприятных геофизических признаков и позволяют оценить возможности различных геофизических методов при опoисковании различных рудопроявлений в пределах Енисейской золоторудной провинции.

Список литературы

Монографии

1. Фисенко В.Г. Предпосылки и признаки золоторудной минерализации северо-восточного склона Енисейского кряжа и перспективы промышленной золотоносности: Автореф. дисс. канд. г.-м. наук. Красноярск, 2016. 18 с.
2. В.Т.Григоров. Крупнейшие золоторудные месторождения Енисейского кряжа и Кузнецкого алатау и их экономическая оценка с позиции стратиформного рудообразования. Москва, Изд-во Научный мир, 2003, 168 с.
3. И.А.Бисеркин. Технология интерпретации данных потенциальных полей при изучении строения земной коры (на примере Байкитской антеклизы), Москва, 2013, 86 с.
4. Петров, В.Г. Условия золотоносности северной части Енисейского кряжа / В.Г. Петров. – Новосибирск: Наука, 1974. – 140 с.

Статьи в сборниках

1. Стороженко А.А., Васильев Н.Ф., Динер А.Э., Пиманов А.В., Леонов О.И., Трофимов Ю.П., Гурский Ю.И., Пиманова Г.П., Киселёва Е.А., Бородушкин А.Б., Хохлов А.Г. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200 000. Издание второе. Серия Енисейская. Лист О-46-IV. Объяснительная записка, 1999, СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 213 с.
2. В.А.Буряк, Ю.И.Бакулин. Металлогения золота., Владивосток, Изд-во Дальнаука, 1998, 403 с.
3. В.К.Совмен, Ю.М.Страгис, А.А.Плеханов и др. Геологическое строение золоторудных месторождений и опыт геологического обслуживания сырьевой базы компании «Полюс» в Красноярском крае. Красноярск, 2009, 208 с.
4. А.И. Забияка, П.П. Курганьков, Ю.В. Гусаров и др. Тектоника и металлогения Нижнего Приангарья. Под ред. А.И. Забияки., Красноярск: КНИИГиМС, 2003, 325 с.
5. А.И.Кривцов, Р.Н.Володин, И.Ф.Мигачев, А.Г.Волчков, В.С.Звездов, О.В.Минина, Ю.В.Никешин, Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов: методическое руководство. Вып. «Медь». 3-е изд. перераб. и доп..Ред. А.И.Кривцов. М.: ЦНИГРИ, 2002. – 212 с.

6. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1979, 283 с.

Статьи в журналах

1. А.М. Сазонов*, А.А. Ананьев, Т.В.Полева, А.Н.Хохлов, В.С.Власов, Е.А.Звягина, А.В.Федорова, П.А.Тишин, С.И.Леонтьев.Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция,структурные типы рудных полей //Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 4, 2010. №3. С.371-395
2. Фисенко В. Г., Макаров В. А. Геохимические критерии и термодинамические условия локализации золоторудной минерализации Северо-Восточного склона Енисейского кряжа // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 6. С. 930.
3. А.Д. Ножкин, А.С. Борисенко, П.А. Неволько. Этапы позднепротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского кряжа.//Геология и геофизика, 2011, т. 52, № 1, с. 158—181.
4. И.И. Лиханов, Н.В.Попов, А.Д.Ножкин. Древнейшие гранитоиды Заангарья Енисейского кряжа: U-Pb и Sm-Nd данные, обстановки формирования..Новосибирск// Геохимия, 2012, №10, с.966-976.
5. Р.Х.Мансуров. Некоторые особенности геологического строения и золотой минерализации рудопоявления Южное (Енисейский кряж)// Известия Томского политехнического университета.Инжиниринг георесурсов, 2016. Т.327, №8, с.99-115

Фондовая литература

1. А.В.Тарасов, А.Р.Мухаметжанов, Ю.В.Воробьев, П.В. Иванов, А.А.Лихачев, Б.Н. Мухаммадиев, И. А. Башев, Г.В. Гурин. Отчет о результатах работ по объекту: «Проведение геофизических работ по опорным профилям в пределах Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций».Санкт-Петербург, 2015,319 с.
2. Галямов А.Л., Ариффулов Ч.Х., Конкин В.Д., Пояснительная записка к обоснованию предложений по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых по объекту: 1-25/13 «Поисковые работы на большеобъемное золотое оруденение, локализованное в углеродисто-терригенных комплексах в пределах Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций». ФГУП "ЦНИГРИ" , Москва, 2012,52 с.

3. Вызу, А.И. Отчёт о геологическом доизучении площади южной части Северо-Енисейского золотоносного района в масштабе 1:50 000, проведённом в 1979-1983 гг. Центральной партией Т. 1, 2, 3 / А. И. Вызу, Ю.Ф. Авдеевский, Л.Н. Малахова и др. – Красноярск, 1983. – 713 с. – Фонды Красноярского филиала ФГУ «ТФГИ по СФО» – Инв. № 22799.
4. Москалев В.А., Отчет о результатах работ за 2009-2012 гг. по объекту Поисковые работы на золото в пределах Нижне-Чиримбинского золоторудно-россыпного узла (Красноярский край). Красноярск, 2012.